

SCIENTIFIC
AMERICAN

June / July 2006

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتيفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

وهم الثقالة

- كيف تجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها
- تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل
- الترجمة الآلية مازالت هدفاً بعيد المنال
- التغلب على قاتل مفاجئ: أمهات الدم
- أهداف جديدة محددة للأدوية
- أمل جديد لقمع الروتافيروس
- العلم وراء لعبة سودوكو
- منابع القدرة المنمنمة
- الراديو الاستعرافي

ترجمة في مراجعة

المقالات

كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها < M B F > د. لائل

محمد شاهين - عبدالحافظ حلمي



4

يشترك البشر والحيوانات الأخرى في تراث من الميول الاقتصادية، يشمل التعاون وردّ الجميل إلى أهله ورفض أن تُنحس حقوقها في التبادلات

تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل < J > كلايد

فوزي عامر - —



10

الاكتشافات الحديثة للأحافير تلقي الضوء على تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل

الترجمة الآلية مازالت هدفا بعيد المنال < G > ستكنس

عمر البزوي - عدنان الحموي

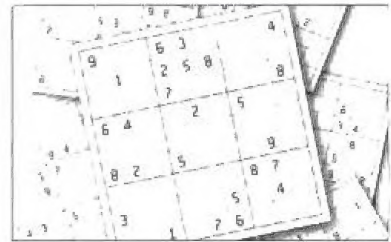


18

تبعث الطرائق الإحصائية الأمل بانتشال الترجمة الآلية من حالة الركود التي تغانيها حاليا

العلم وراء لعبة سودوكو < P J > بيلاماي

خضر الاحمد - —



22

لا يتطلب حل أحجية لعبة سودوكو الاستعانة بعلم الرياضيات. ولا حتى بعلم الحساب ومع ذلك، فما زالت هذه اللعبة تطرح مسائل مثيرة في الرياضيات

التغلب على قاتل مفاجئ: أمهات الدم < A J > إلفريديس

عدنان تكريتي - —



30

تبشر طرائق الرعاية الحديثة بإنقاذ مرضى ام الدم من كارثة

الراديو الاستعرافي

حاتم البجدي - محمد دبس

سوف تتجنب أجهزة الراديو الذكية والتجهيزات اللاسلكية الحديثة الأخرى عوائق الاتصال، وذلك بالتحول أنيا إلى ترددات قريبة نجدها واضحة



38

أهداف جديدة محددة للأدوية

عادل نوفل - سحر الفاهوم

تمثل المستقبلات على سطح الخلايا استهدافات بيوكيميائية حديثة لمعالجة اضطرابات تراوح ما بين الفيروس HIV والسمنة



46

أمل جديد لقهر الروتافيروس

سامية التمامي - محمد زياد شويكي

بعد ثلاثين عاما من البحث، تتوافر حاليا في الأسواق لقاحات ضد المسبب الأول للإسهال القاتل عند الأطفال وهو الروتافيروس (فيروس الروتا).



56

منابع القدرة المنمنمة

فوزي عوض - أحمد باشا

مع ظهور البطاريات (المذخرات) الثانوية، بدأت منابع القدرة أخيرا بالانكماش لتلحق ببقية العناصر الإلكترونية



64

وهم الثقالة

يوسف محمود - نضال شمعون

لعل قوة الثقالة وأحد أبعاد الفضاء قد تولّدا من خلال تلك التفاعلات الغريبة بين الجسيمات والحقول الموجودة في عالم نابعد أقل



68

80 أخبار علمية

- حوار الخلايا
- من الجنين إلى دماغ أمه

82 اسألوا اهل الخبرة

- كيف تقتل المضادات الحيوية البكتيريا من دون أن تؤذي الخلايا البشرية؟
- كيف تضيء اليراعات ولماذا؟

76 تقنيات

يمثل «البيوقزيكال 250» الاختبار الأقصى للدم بخصوص المحاضر الصحية (ولكن بسعر عال)

78 عروض ومراجعات كتب

يوضح كتاب «عدد لانهاني من الأشكال البالغة الجمال» كيف أن الإدراك العميق لبيولوجيا التامهي يفسر الكثير من الغاز التطور

كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها

يشارك البشر والحيوانات الأخرى في تراث من الميول الاقتصادية، يشمل التعاون ورد الجميل إلى أهله ورفض أن تُبَخَس حقوقها في التبادلات.

د. م. ب. ل. د. ق. ل.

صا، فإن قليلين هم الذين ينظرون إلى نموذج السرطان كنموذج ذي علاقة بالعاملات الاقتصادية البشرية. وستكون تأثيرات السرطان أكثر إثارة لو أن الحيوانات عقدت صفقاتها بأسلوب "يمكنك امتلاك منزلتي لو أعطيتني في المقابل تلك السمكة الميتة" والسرطانات الناسكة ليست من عاقدتي الصفقات. وفي الحقيقة ليس لديها شعور بتأنيب الضمير عند طردها مالكي مسكن بالقوة. بيد أن حيوانات أخرى أكثر اجتماعية تتفاوض فيما بينها. ومقارنة هذه الحيوانات في تبادل الموارد والخدمات تساعدنا على فهم كيف نشأ السلوك الاقتصادي البشري، ولماذا؟

اقتصاديات جديدة

ينظر علم الاقتصاد المعهود إلى الناس على أنهم حريصون على تحقيق أقصى قدر من المنفعة لأنفسهم. تدفعهم إلى هذا أنانية مطلقة وقد صاغها في القرن السابع عشر الفيلسوف الإنكليزي T هوبس هكذا: "يفترض أن كل فرد يبحث لنفسه فطرياً ومن دون قصد عما هو نافع له، أما بحثه عما هو عادل فلا يأتي إلا ابتغاء السلامة وعرضاً". وفي حدود هذا الرأي الذي مازال سائداً، لا يكون هذا السلوك إلا فكرة تالية أو «عقداً اجتماعياً» طرقة أسلافنا بسبب منافعه وليس بسبب انجذاب بعضهم لبعض والنسبة إلى البيولوجي. يحيد هذا التاريخ الخيالي، إلى أبعد حد، عن الحقيقة. لقد انحدرنا من سلسلة طويلة من الرئيسات التي تعيش في جماعات: وهذا يعني أننا زودنا فطرياً برغبة قوية لأن ننتظم في جماعة، وأن نجد شركاء. نعيش ونعمل معهم. وهذا التفسير

وعادة ما يكون هذا صدفة مهجورة لحيوان من البطقدييات (الحزازين) المشكلة هي أن السرطان ينمو، في حين لا ينمو بيته. ومن ثم تكون هذه السرطانات في بحث دائم عن بيوت جديدة. وفي اللحظة التي تنتقل فيها إلى صدفة أوسع، تكون سرطانات أخرى بانتظار دورها لشغل الصدفة الخالية.

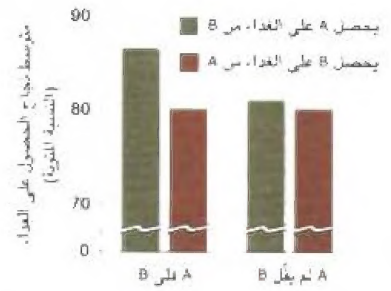
ونستطيع هنا أن نرى بسهولة تطبيق قانون العرض والطلب، ولما كان هذا القانون يطق هنا على مستوى غير شخصي إلى حد

أن يكون مكتبي حالياً لفترة طويلة لو أنني تركته، كذلك الأمر بالنسبة إلى الممتلكات في الطبيعة. فملكيتها تتغير باستمرار وتتراوح المساكن المكنة من نقر تنقيبها نواقر الخشب woodpeckers إلى أصداف فارعة على الشاطئ وخير مثال ممطي لما يطلو عليه الاقتصاديون «سلسلة الشوارع» vacancy chain هو سوق الإيواء housing market بين حيوانات السرطان الناسكة. فكل سرطان يحمل بيته أينما ذهب لحماية بطنه الرخو.



تتفاسم فردة الكابوشين طعامها. كما نفعل الشمبانزيات والإناسي. ولما كان هذا السلوك نادراً بين الرئيسات الأخرى، فيبدو أنه تطور مع ممارسة الصيد التعاوني (الجماعي)، وهي استراتيجية نستخدمها الأنواع الثلاثة فغير انقسام غنمة الصيد لن يكون هناك صيد جماعي. وهنا يرى صغيراً من الكابوشين يستحدي أمه الطعام بتدوير راحة يده، كالقدح، أمام الطعام الذي تأكله.

HOW ANIMALS DO BUSINESS (1)
The New Economics (1)
harmful crates (1)
primates (2)



تتقاسم الشمبانزيات الغذاء - هذه الأغصان المورقة، مثلاً - كرد لخدمات من قبيل التقلية. وقد تم توضيح هذه التبادلية تجريبياً بتسجيل التقلية في صباح الأيام التي كان من المخطط إجراء تجارب تقاسم الغذاء فيها. وكما يوضح الرسم البياني، قد زادت نسبة نجاح الشمبانزي (A) في الحصول على غذاء من الشمبانزي (B) بعد تقلية (A) له. لكن نجاح الشمبانزي (B) في الحصول على غذاء الشمبانزي (A) لم يتأثر بتقلية الشمبانزي (A). وبذلك، وعلى وجه الخصوص، فإن الفرد الذي يعني هو الذي يستفيد. وهذا يعني أن القاعدة هي مفاوضة الغذاء بالتقلية.

ثم ساعدت القردة «بيبا» على أن تُقرب الحامل مرة ثانية. ولم تقم القردة «سيا» بذلك لمصلحتها الخاصة، لأن أنية الطعام المتاحة لها كانت خالية.

ويبدو أن السلوك التصحيحي للقردة «سيا» كان استجابة لاحتياج الفرد «بيبا» بسبب فقدانها مكافأة متوقعة. ويأتي مثل هذا الفعل أكثر قرباً للصفقات الاقتصادية البشرية منه لحيوانات السرطان الناسك لأنه يوضح تعاوناً واتصالاً وتحقيقاً لمطلب متوقع. بل ربما إحساساً بالالتزام. ويبدو أن القردة «سيا» كان عندها إحساس بموقف ابتداء أو المفاوضة، أو أحد شي، ما مقابل إعطاء شيء آخر quid pro quo. وهذا الإحساس ليس مفاجأة، إذا علمنا أن حياة الجماعة لقردة كايوشين تدور حول هذا المزيج نفسه من التعاون والبنافس الذي يميز مجتمعاتنا البشرية.

تطور التبادلية

يحدث أحياناً، في الحيوانات والبشر أن يساعد الفرد الآخر من دون أي فوائد واضحة تعود على الفرد المعين. كيف نشأ مثل هذا السلوك؟ تكون إجابة هذا السؤال سهلة نسبياً لو أن المساعدة قد قدمت لفرد من العائلة. ويتعرف البيولوجيون الميزات الوراثية لتلك المساعدة إذا عاش قريبك، ازدادت أرححية أن تجد حبياتك طريقها إلى الجيل التالي. لكن التعاون بين أفراد من غير ذوي القرابة يوحى

Overview: Evolved Economics (++)
The Evolution of Reciprocity (++)

ولنتخذ حدثاً جديداً تم خلال إجراء أبحاثي في مركز يركس القومي لأبحاث الرئيسات باتلانا لقد دربنا قردة كايوشين على أن تصل إلى أنية طعام بسحب قضيب متصل بحامل أنية الطعام وجعلنا الحامل أثقل وزناً مما يقدر عليه فرد واحد، حتى نوجد سبب يدفع القردة إلى التعاون.

في إحدى المرات، تم السحب بواسطة القردتين «بيبا» و«سيا» ولوجودهما في قفصين متلاصقين، نجحنا في جعل الحامل وعليه أنيتا الطعام في متناولهما. ولكن القردة «سيا» كانت متعجلة في حصد جائزتها إذ حررت القضيب وانترعت أنية طعامها قبل أن تحصل القردة «بيبا» على طعامها. وارتد الحامل للورا بعيداً عن متناول القردة «بيبا» وفيما كانت القردة «سيا» تمضغ طعامها بصوت عال، انتابت القردة «بيبا» نوبة غضب. وأطلقت صيحة يملأ أنفاسها لنصف دقيقة إلى أن اقتربت القردة «سيا» من قضيب السحب مرة ثانية.

التطوري لسبب تأثرنا على الوجه الذي نفعله، يكتب حالياً نفوذاً بفضل ظهور علم جديد يعرف بعلم الاقتصاد السلوكي behavioral economics والذي يركز على السلوك البشري الفعلي أكثر منه على قوى السوق المجردة. كدليل على فهم كيفية صنع القرار الاقتصادي وقد حظي هذا العلم بتقدير خاص في عام 2002 وذلك باقتسام اثنين من مؤسسيه، وهما Ds كايمنان وA. Smith، جائزة نوبل.

إن علم اقتصاد السلوك الحيواني مجال بكر يقدم دعماً للنظريات الجديدة بإيضاح أن الميول الاقتصادية الأساسية والاهتمامات البشرية - مثل التبادلية واقتسام المكافآت والتعاون - لا تقتصر على البشر. فمن المحتمل أنها نشأت في حيوانات أخرى للأسباب نفسها التي نشأت فيها، وذلك لمساعدة الأفراد على الحصول على أفضل المنافع بعضهم من بعض من دون تقويض للاهتمامات المشتركة التي تدعم حياة المجموعة.

نظرة إجمالية/ اقتصادات تطويرية

- ينظر مجال علم الاقتصاد السلوكي الجديد إلى الوسيلة التي يجري بها البشر تعاملاتهم على أنها تراث متطور لنوعنا.
- تماماً كما يؤثر مبدأ المفاوضة «واحدة بواحدة» ومبدأ العرض والطلب في تجارة السلع والخدمات في اقتصادات البشر، هما يؤثران أيضاً في أنشطة التعامل بين الحيوانات.
- تشكل الاستجابات العاطفية - مثل الثورة ضد الدوابير غير العادلة - أساس المفاوضات عند الحيوانات والبشر كليهما.
- قد يفسر علم النفس النقاسمي السلوكيات الغريبة من قبيل الإبتارية، على أنها جزء من خلفيتنا السابقة كرئيسات متعاونة.

ما الذي يُحرك التبادلية؟^(١)

يتبادل البشر والحيوانات الأخرى المنافع بعدة وسائل تعرف تقنياً باليات التبادلية. وبهما كانت الآلية، فإن الخيط العام فيها هو أن المنافع تجد طريقها عائداً إلى الواهب الأصلي.

الملاحظات الأساسية

تحرك المودة المتبادلة بين طرفين سلوكاً متشابهاً في كلا الاتجاهين من دون الحاجة إلى تتبع مسار عمليات العطاء والأخذ اليومية، مادامت العلاقات نَظْلَ مُرضية في جملتها. وربما كانت هذه هي أكثر اليات التبادلية شيوعاً في الطبيعة. وهذا هو الطراز النمطي في البشر والشمبانزات ذات العلاقات الوثيقة. مثال: تتزامل الشمبانزات الأصدقاء، ويغلي بعضها بعضاً ويدعّمه في المعارك.

يعكس كل من الطرفين الاتجاه السلوكي للطرف الآخر، فيتبادلان المجاملة لحظياً ويحدث تبادل المجاملة لحظياً بين القردة. وغالباً ما يعتمد عليها البشر مع الغرباء، مثال: تتقاسم قردة كايوشين الغذاء مع القردة التي تساعد على جذب حامل أواني الطعام.

يتتبع الأفراد مسار المنافع التي يتبادلونها مع رفاق، معينين بذاتهم، وهذا يساعدهم على تفسير لمن يردون الجميل. وهذه الآلية نمطية في الشمبانزات وشائعة بين البشر في العلاقات غير الوثيقة الصلة والعلاقات المهنية. مثال: تستطيع الشمبانزات توقع الحصول على غذاء بعد الظهيرة من الشمبانزات التي قَلَّتْها في الصباح.

آلية التبادلية

اعتمادية التماثل

«فكرة التوافق»



الاتجاه السلوكي

«إذا كنت لطيفاً معي سوف أكون لطيفاً معك»



محسوبة

«ماذا قدمت لي مؤخراً؟»

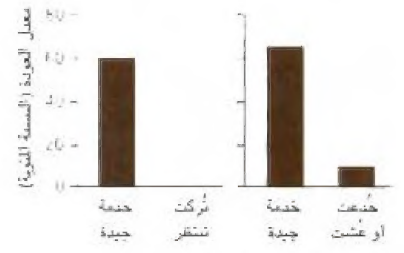


شمبانزي على قطعة، بل حتى أعلى الذكور منزلة قد يستجدي الطعام من دون جدوى إذا لم يشارك في الصيد ويوحى هذا داته بالتبادلية، إذ يبدو أن القناصة تستمتع بأولويتها خلال توزيع الغنائم. وفي محاولة لمعرفة الآليات الفعالة هنا، استثمرنا ميل هذه القردة لأن يشارك بعضها بعضاً - وهذا ما نظهره أيضاً وهي في الأسر - بتسليم أحد الشمبانزات في مستعمرتنا بطيخة أو بعض الفروع المورقة والحائز لهذه المنحة يكون في مركز الزمرة المشاركة. وسرعان ما تتبعها زمر أخرى تحوم حول الأفراد التي نجحت في الحصول على نصيب كبير، ويتوزع الغذاء جميعه على كل فرد ولم نسمع من قبل أنه قد حدث بين الشمبانزات محاولة الاستيلاء على غذاء، فرد آخر بالقوة، وهي ظاهرة تعترف باسم «احترام الملكية». بمد انتسول منها يده وراحتها متجهة إلى أعلى، بشكل مماثل إلى حد كبير لما يفعله شحاذو البشر في الطرقات إنها تتدمر وتغوي، لكن المواجهات العدوانية نادرة. ولو حدثت هذه المواجهات،

المقدمة منها أو التي تتلفاها» إن الأمر قد لا يعدو أنهم يقومون بتصنيف العالم إلى «لارفاقاء» buddies هم الذين يفضلونهم و«لارفاقاء» لا يعيرونهم إلا قليل الاهتمام. فإذا كانت هذه الأحاسيس متبادلة، فإن العلاقات ستكون إما نافعة تبادلياً وإما غير نافعة تبادلياً ويمكن لمثل هذه التماثلات أن تفسر التبادلية التي وصفت في الأسماك والخفافيش مصاصة الدماء (التي تتغذى الدم لرفقاتها) والدلافين وكثير من القردة ومجرد كون هذه الحيوانات قد لا تستطيع تتبع مسار الخدمات المقدمة لا يعني أنه ينقصها التبادلية والقضية على الأرجح هي كيف أن الخدمة المقدمة للآخر تعود للمؤثر غيره altruist الأصلي ما هي بالضبط آلية التبادلية؟ حفظ السجل العقلي هو مجرد إحدى الطرق لجعل التبادلية تعمل، وما إذا كانت الحيوانات تفعل هذا يبقى قيد الاختبار. وحتى الآن الشمبانزات هي الاستثناء الوحيد، حيث هي في البرية تصطاد في مجموعات لاقتناص قردة كولوبوس تقتنص إحداها عادة الفريسة، ثم تمزقها وتقسّمها ومع ذلك، لا يحصل كل

بأنه لا توجد ميزات وراثية عاجلة ولقد قدم الأمير الروسي P. كروبوتكين تفسيراً مبكراً لذلك في كتابه «المساعدة المتبادلة» الذي نشر عام 1902، وكانت حجته في ذلك هي أنه إذا كانت المساعدات جماعية كان أمام جميع الأطراف فرصة للكسب - وتزداد فرص كل فرد للبقاء ولكن كان علينا أن ننتظر حتى عام 1971 ليصوغ L. R. تريفرز [الذي كان حينها في جامعة هارفرد] القضية بمصطلحات تطويرية حديثة مع نظريته عن الإيثارية altruism التبادلية

وكان «تريفرز» يقول بأن تقديم تضحية للآخر يكون مجزياً لو أن الآخر رد المعروف. ويمكن اختصار التبادلية في: «سأحظ ظهرك بأظافري إذا فعلت أنت ذلك بظهري». هل تُظهر الحيوانات مثل هذه المقايضة «واحدة بواحدة» tit for tat تكون القردة والقردة العليا تحالفات فيما بينها، حيث يتحالف قردان أو أكثر على ثالث. ولقد وجد الباحثون علاقة إيجابية بين كم مرة يدعم القرد (A) الفرد (B) وكم مرة يدعم الفرد (B) القرد (A) لكن هل يعني هذا أن الحيوانات تستطيع حقيقةً تتبع الخدمات



نقضم السمكة المنظفة الطفيليات في الفم المفتوح لسمكة كبيرة زبونة ونادرا ما تعود السمكة الجواله إلى محطة السمكة المنظفة إذا ثركت تنتظر طويلا (الرسم البياني الأيسر) أو خدعت (الرسم البياني اليمين)، أي إن السمكة المنظفة أخذت فضضة من نسيج جسمها السليم، ولذلك نعيل السمكة المنظفة إلى أن تعادل الزبونات الجواله أفضل من المقيمات، التي لا يوجد امامها فرص لاختيار محطات نظافة.

البشري. تعرف عملية «تلوين» الخبرة هذه باسم «العرفان بالجميل» ولا يوجد أي سبب لنطق عليها شيئا آخر في الشمبانزات، ولكننا مارلنا غير متأكدين ما إذا كانت القدرة العليا تشعر بالاحساس بالدين للآخرين، ولكن ما يثير الاهتمام أن الميل لرد الخدمات ليس هو نفسه في جميع العلاقات فتكثر الملاطفة بين الأفراد التي تجتمع ويفلي بعضها بعضا مرات كثيرة، لكن ليس لجلسة واحدة من التغليف أهمية تذكر في الملاطفة ومن المحتمل أن جميع أنواع المقايضات اليومية تتم بينها من دون تتبع مساراتها. بل عوضا عن ذلك، يبدو أنها تتبع منظومة «الرفقاء» السابق مناقشتها ولا تبرز التغليف مستحقة بذاتها مكافأة إلا في العلاقات الأكثر بعدا ولأن الفرد «سوكو» والفردة «ماي» لم يكونا صديقين حميمين، كانت تغلفة «سوكو» جديرة بالملاحظة.

ويتجلى في سلوك البشر اختلاف مشابه، حيث يكون أكثر نزوعا لتتبع التعاملات المتبادلة في الأخذ والعطاء مع الغريباء والزملاء عما نفعله مع اصدقائنا وعائلتنا بل الواقع إن تسجيل هذه التعاملات في العلاقات الوثيقة، كما هي بين الأزواج، يكون علاقة مؤكدة لعدم الثقة

أسواق بيولوجية

وحيث إن التبادلية تتطلب شركاء، فإن اختيار الشريك يعتبر قضية أساسية في علم الاقتصاد السلوكي إن إسكان البيوت الخالية عند السرطانات الناسكة أمر بسيط

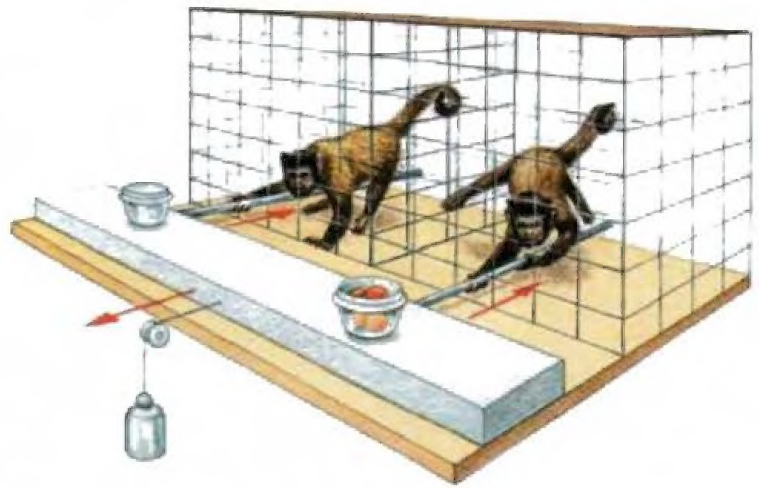
على بعض الأغصان منها سوف نزداد كثيرا وقد ثبت أن هذه العلاقة بين سلوك الماضي والحاضر هي علاقة عامة، ولا تستطيع روابط التماثل أن تفسر هذه النتيجة. لأن النمط يختلف من يوم إلى آخر ودراستنا هذه كانت أول دراسة في عالم الحيوان توضح عمليا ارتباط ما يتلقى وما يقدم من خدمات إضافة إلى ذلك، فإن صفقات تقديم الغذاء مقابل التغليف هذه محددة بالشريك، بمعنى أن تسامح الفردة «ماي» أفاد الفرد «سوكو»، الذي فلأها. وليس أي فرد آخر

وتتطلب هذه الأكلية التبادلية ذاكرة للأحداث السابقة وكذلك «تلوين» الخبرة السابقة بحيث يؤدي ذلك إلى توليد أسلوب ودي بين متبادلي الخبرة وفي نوعنا



تدفع إناث البابون النمن بالتغليف لتخلس النظر إلى صغير حديث الولادة. وكلما قل عدد الصغار، زاد الوقت المطلوب للتغليف. وتزداد قيمة السلعة - صغار البابون في هذه الحالة - كلما شح وجودها.

كسب مقابل أكبر (أي وقت تلبية أطول)
مقارنة بأهات في حشد حافل بالصغار
أما أسماك اللابروس المنظفة *Labroides dimidiatus*
في أسماك بحرية صغيرة تتغذى
بالطفيليات الخارجية للأسماك الأكبر حجما
ولكل سمكة منها «محطة» على شعب مرجاني
حيث يأتي العملاء (وهي هنا الأسماك
الكبيرة) لتنشط زعانفها الصدرية وتتخذ
وضعا يعطي فرصة للسمكة المنظفة لأن تقوم
بعملها وتمثل هذه المقايضة مثالا نموذجيا
للتبادلية *mutualism*



تُظهر تجربة جذب حامل أواني الطعام أن قروود كابوشين تميل إلى تقاسم الطعام مع الرفقاء المتعاونين أكثر من أولئك غير المتعاونين. نُؤوي حجرة الاختيار قردين كابوشين يفصل أحدهما عن الآخر شبيخة. ولكي يصل القردان إلى أواني طعامهما عليهما أن يستخدما قضيبا لجذب حامل الأواني المعادل. وهذا الحامل انقل مما يستطيع القرد أن يجذبه بففرده. ويعمل القرد العامل *laborer* (في اليسار) الذي تبدو أنية طعامه الشغافة فارغة. لصالح «الرايح» الذي يوجد طعامه في أنية طعامه. وعموما يتقاسم الرايح الغذاء مع العامل من خلال الشبيخة. أما إذا لم يفعل ذلك فإن العامل يفقد الاهتمام بالامر.

وتتضمن السمكة المنظفة الطفيليات مخلصه
منها سطح جسم السمكة الكبيرة (العميل)
وخياشيمها، بل حتى ما بداخل فمها وأحيانا
قد تكون السمكة المنظفة مشغولة إلى حد أن
العمليات (الأسماك الكبيرة) تنقف صففا
بانتظار دورها. ويوجد صنفان من العمليات
المقيمة والجوالات وتنتمي المقيمات إلى
أنواع لها مناطق إقليمية محدودة، وليس لديها
خيار غير أن نذهب إلى منظفتها المحلية. أما
الجوالات، من جهة أخرى، فهي إما أن تكون
لها مناطق إقليمية كبيرة وإما أنها ترتحل
لسافات طويلة. مما يعني أن أمامها بضع
محطات للتنظيف يمكنها أن تتخبر ما تشاء.
منها. وترغب الجوالات في ألا تطول فترات
انتظارها فضلا على تطلبها خدمة ممتازة وآلا
نغش أو يُحتال عليها. ويحدث الاحتيال عندما
تأخذ السمكة المنظفة قضيمة من عميلتها
لتغذي بغشائها المخاطي السليم، مما يدفع
العميلة إلى الفزع والسباحة بعيدا.

وتقوم الأبحاث التي أجراها «R» و«D»
[من معهد ماكس پلانك في سيبايسين]
أساسا على ملاحظات تجري في الشعب
المرجاني، ولكنها تتضمن أيضا تجارب بارعة
في المختبر. وقراءة مقالات «ردوان» العلمية
تشبه إلى حد بعيد قراءة كتيب لممارسة جيدة
للتجارة. فالأرجح أن تجنح الأسماك الجواله
إلى تغيير محطاتها إذا تجاهلتها السمكة
المنظفة طويلا أو خدعتها. ويبدو أن المنظفات
تعرف هذا، فهي تعامل الجوالات بأسلوب
أفضل من معاملتها للأسماك المقيمة. وإذا
وصلت سمكة جواله وأخرى مقيمة إلى المحطة
في وقت واحد فالذي يحدث دائما - تقريبا -

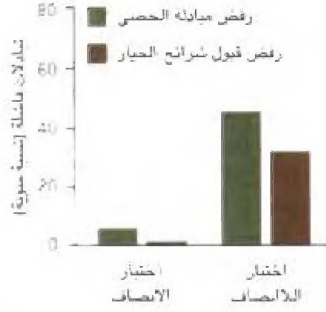
شركاء تجارة اختيار من يتعاملون معهم. تقول
بأن قيمة البضائع والشركاء تختلف مع
إمكانية الحصول عليها. وقد وضحت هذه
النقطة دراستان لقوى السوق تتعلق إحداهما
بسوق الصغار بين قروود البابون، والأخرى
خاصة بآداء العمل عن سمك صغير يسمى
اللابروس المنظف *cleaner wrasses*

فمثل جميع إناث الرئيسات تجذب إناث
البابون للصغار بشدة لا تقاوم - ليس فقط
لصغارها بل أيضا لصغار الآخرين. بحيث
تطلق أصواتا صديقة (قُبعا يشبه صوت
الخنزير) وتحاول لمسها بيد أن الأهات من
ناحية أخرى، تكون متشددة في حماية
ولاندها العزيرة، ولا تسمح لأي فرد بأن
يمسها، ولذلك يتحتم على الإناث الرغبة في
الاقتراب أن تقلي الأم، فيما هي تختلس النظر
للرضيع المتعلق بكف الأم أو يرضع أسفل
ذراعيها. وقد تستسلم الأم، بعد جلسة تلبية
واسترخاء، لرغبة الأنثى الغالبة في نظرة عن
قرب. وهكذا تشتري الأنثى الأخرى وقت
الطفل. وتتنبأ نظرية السوق بأن قيمة الصغار
سوف ترتفع إذا قل عددها في موضع ما.
وفي دراسة عن قروود بابون الشفغمة *chama*
البرية في جنوب إفريقيا، وجد كل من «A»
باريت» [من جامعة ليفربول] و«D» هنري» [من
جامعة سنترال لانكشاير] (وكلتاهما في
إنكلترا)، أن الأهات التي تكون في حشد
يندر فيه الصغار لديها بالفعل القدرة على

إلى أبعد حد سقارنا بالتأثرات بين
الرئيسات، والتي تتضمن العديد من
الشركاء التي تتبادل فوائد عديدة مثل التلبية
والجنس والدعم في العراك والطعام والعناية
بالصغار ونحو ذلك وهذا «السوق التجاري
للخدمات». كما أطلقت عليه في كتابي
«سياسات الشمبانزات» *Chimpanzee Politics*
، يعني أن كل فرد يحتاج إلى أن
يكون على علاقات طيبة بالفئات الأعلى ليعزز
مشاركات التلبية، بل ليعقد - إذا كان
ظموحا - صفقات مع الأفراد الأخرى التي
تشاركه هذا التفكير فذكور الشمبانزات
تكوّن تحالفات لتحدي الحاكم المستط، وهي
عملية محفوفة بالمخاطر. وبعد تنحية الزعيم،
يحتاج الحاكم الجديد إلى أن يحافظ على
رضا مؤيديه، فالذكر السائد الذي يحاول
احتكار امتيازات القوة، مثل الاقتراب من
الإناث، لا يحتمل أن يحتفظ بوضعه طويلا
ولقد قامت الشمبانزات بذلك من دون أن
تقرأ ما كتبه «مكيافلي»

فإذا كان كل فرد يبحث عن أفضل
الشركاء، ويبيع خدماته بصبح إطار التبادلية
مسألة عرض وطلب، وهذا هو ما كان تاما
في ذهن كل من «R» نو» و«P» هامرشتاين،
[الذين كانا عندئذ في معهد ماكس پلانك
لفيزيولوجيا السلوك في سي فايرين بانانيا]
في نظريتهما عن السوق البيولوجية وهذه
النظرية، التي تنطبق حيثما كان بإمكان

(١) رجل الدولة الفلورنسي (المثوي 1527). مؤلف
الكتاب الشهير *De Principe*، والذي لا يزال بالقيم
والأخلاقيات في السياسة. ويعمل أي ثني، لينوغ
(الحرير)



لفرود الكابوشين افضليات محددة عندما تُقدم على الغذاء - إنها تفضل، مثلا، الفاكهة على الخضراوات مثل بيات الكرفس، الذي يتناوله هذا الكابوشين مع كثير من التردد. وعندما تُشرب هذه الفرود على تبادل حصى مقابل شريحة خیار تقوم بذلك سعادة مادام الحيار يُقدم للقرود الذي في حجرة الاختبار المجاورة (اختبار الانصاف في الرسم البياني) لكن عندما كان يقده للقرود في القفص المجاور عيب فيما هي بالية على تلقي شرائح الخیار (اختبار عدم المساواة)، فإبها كانت تتوقف فجأة أمام هذا الجزء غير المنصف، فقد كانت إما أن ترفض قبول شرائح الخیار. وفي بعض الأحيان كانت تلقي بها خارج القفص، وإما أن ترفض إعادة الحصة.

أن المشاركة تؤثر في التعاون المستقبلي ولأن معدل نجاح زوج القرود كان سيهبط لو أن الرابع كان لا يقاسم شريكه، فإن مكافأة العامل تكون استراتيجية ذكية

وقد ذهبت [T. S. بروستون] إحدى زميلاتي في بيركس إلى مدى أبعد في استكشاف ردود فعل تقسيم المكافآت حيث كانت تقدم حصاة صغيرة للقرود كاپوشين ثم تمسك بشريحة من الخیار كإعارة، لاستعادة الحصة أدركت الفرود بسرعة مبدأ التبادل ولوحظ أن القردين المتجاورين جنبا إلى جنب يتبادلان الحصى بالحيار مع الباحث بسرور أما لو أن أحدهما حصل على عيب في حين استمر الآخر على الخیار، فإن الأمور كانت تأخذ منحى غير متوقع إذ لما كان العيب أكثر تفضيلا، فإن الفرود التي كانت راغبة في شرائح الخیار أضربت فجأة عن هذا. فهي لم تكن تؤدي دورها على مضض فحسب (حيث كانت ترى أن القرود الآخر يحصل على صفقة أفضل)، بل إنها كانت تتناوبها حالة هياج قاذفة بالحصى خارج حجرة الاختبار، بل حتى شرائح الخیار في بعض الأحيان، والطعام الذي كان لا يرفض أبدا في الأحوال العادية، صار أقل من أن يرغب فيه

ورفض الجزء غير المنصف - والذي يقوم به البشر أيضا - يخالف افتراضات الاقتصادات التقليدية فلو أن زيادة الفوائد إلى حدها الأقصى كانت هي كل ما يهم في الموضوع، فإن الفرد يجب أن يأخذ ما يستطيع الحصول عليه ولا يترك أبدا فرصة للاستياء أو الحسد للتدخل ومن جانب آخر، يفترض علماء الاقتصاد السلوكي أن النظم قد أدى إلى عواطف تحفظ روح التعاون وأن مثل تلك العواطف تؤثر بقوة في السلوك وعلى المدى القصير قد يبدو الاهتمام بما

المراقبة، عندما إلى قرودنا الكابوشية، نختبرها في سوق عمل مُصغر مستوحى من ملاحظات حقلية لفرود كاپوشين تهاجم سناحيب عملاقة وصيد السنجاب مجهود مجموعة، لكن المكافأة كلها تنتهي بيد فرد واحد الأسر (القناص) ولو أن كل أسر احتفظ بالفريسة لنفسه، فلنا أن نخيل أن الآخرين سيفقدون اهتمامهم بمشاركتهم في المستقبل، تنقسم قرود كاپوشين اللحم للسبب نفسه الذي تقوم به الشمبانزات (والبشر) بذلك لا يمكن وجود صيد مشترك من دون ناتج ربح مشترك

لقد حاكينا هذا الموقف في الخنبر بأن تأكدنا أن قرودا واحدا فقط (والذي أطلقنا عليه الرابع) من القردين جاذبي حامل أواني الطعام قد تلقى أنية بها قطع تفاح، أما شريكه (العامل) فلا يوجد طعام في أنيته، كما كان واضحا من البداية إذ إن أنية الطعام كانت شفافة وهكذا يكون القرود العامل قد جذب الحامل لفائدة القرود الرابع ويجلس الفردان جنبا إلى جنب، تفصلهما شبكة وقد عرفنا من اختبارات سابقة أن حائزي الغذاء يمكنهم أن يحملوا الغذاء إلى الحاجر ويسمحوا لجارهم أن يصل إليه من خلال الشبكة، وفي حالات نادرة، كانوا يدفعون قطع طعام إليه

ولقد أجرينا مقارنة بين الجذب الجماعي والجذب المنفرد ففي إحدى الحالات كان لكل قرود قضيب جذب وكان حامل الأواني ثقيلًا، وفي الحالة الأخرى، كان لا يوجد لدى الشريك قضيب جذب وكان لدى الرابع قضيب سحب متصل بحامل أوان خفيف يمكن جذبته بواسطة فرد واحد ولقد أحصينا حالات أكثر لتقاسم الطعام بعد السحب الجماعي منه في السحب المنفرد وفي الواقع كان الرابعون يكافئون شركائهم على المساعدة التي تلقوها ولقد أثبتنا أيضا

أن تقدم السمكة المنظفة خدماتها للسمكة الجواله أولا، فالسمكة المقيمة ليس أمامها مكان آخر تذهب إليه ولذلك يمكن تركها تنتظر، والفئة الوحيدة من الأسماك التي لا تستطيع المنظفات خداعها هي المفترسات التي تملك استراتيجية مضادة حاسمة، وهي أن تبطل السمكة المنظفة لذلك تتوخى الأسماك المنظفة الحكمة في تعاملها مع المفترسات، وينص كلمات «ردوان» «استراتيجية تعاون غير مشروط»

وتقدم نظرية السوق البيولوجية حلا زائعا لمشكلة الأنواع المتطفلة free loaders، والتي شغلت البيولوجيين زمنا طويلا لأن منظومات التبادلية الشديدة الحساسية لا تصلح - طبعا - بالنسبة إلى الأنواع التي تأخذ أكثر مما تعطي، وغالبا ما يفترض واضعو النظريات أن المعتدين يجب أن يعاقبوا، على الرغم من أن هذا مازال محتاجا إلى دليل بالنسبة إلى عالم الحيوان. وعلى العكس من ذلك يمكن التعامل مع سلوك الغش بطريقة أسهل فلو كان هناك اختيار للشركاء، فإن الحيوانات يمكنها أن نبذ ببساطة العلاقات غير المرضية لها وتستبدل بها علاقات تقدم فوائد أكثر. واليات السوق هي كل ما هو مطلوب للاستقلالين وفي مجتمعاتنا الخاصة نحن، أيضا، لا نحب ولا نثق في أولئك الذين يأخذون أكثر مما يعطون، ونميل إلى أن نثق بعيدا عنهم

الإنصاف إنصافاً

ولكي يجني فرد ما فوائد التعاون، عليه مراقبة مجهوداته بالنسبة إلى الآخرين وأن يقارن مزدودها بالجهد المبذول فيها ولكي نتحرى هل تقوم الحيوانات فعلا بهذه

تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل^(١)

تلقى الاكتشافات الحديثة للأحافير^(٢) الضوء
على تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل.

«أ. كلاك»



في خلال نحو أربعة بلايين سنة منذ بدء الحياة على الأرض، أحدث التطور بعض التحولات المدهشة ومن المؤكد أن أحد أكثر هذه التحولات إثارة هو ذلك الذي أدى إلى ظهور مخلوقات تحمل أرجلا وأصابع من أسماك مرتبطة بالماء ولها زعانف. وفي عصرنا الحالي فإن هذه المجموعة - رباعيات الأرجل - تشمل كل شيء بدءا من الطيور وأسلافها من الديدنوصورات حتى العظايا والشعابين والسلاحف والضفادع والثدييات بما فيها نحن. وقد حورت بعض هذه الحيوانات أطرافها أو فقدتها، غير أن سلفها المشترك كان يملكها - اثنين في الأمام واثنين في الخلف - حيث كانت الزعانف تضرب بدلا منها

وقد كان إحلال الأطراف محل الزعانف خطوة حاسمة في هذا التحول، ولكنها لم تكن - بآية حال - الخطوة الوحيدة فعندما غاصرت رباعيات الأرجل بالانتقال إلى الشاطئ وأجهت تحديات لم يصادفها أي حيوان فقاري من قبل، فلم يكن ذلك مجرد نمو أرجل ومشي، فاليابسة وسط يختلف اختلافا جوهريا عن الماء، وفرض غزوه على رباعيات الأرجل أن تطور وسائل جديدة لكي تنفّس وتسمع وتقاوم الجاذبية وتمتد القائمة وما إن اكتملت هذه التحولات البالغة، أصبحت اليابسة ملكا لها لتستثمرها

وحتى 15 عاما مضت لم يكن علماء الأحافير (الإحاثة) يفهمون سوى القليل عن تسلسل الأحداث

(١) العنوان الأصلي: GETTING A LEG UP ON LAND

(٢) أحفورة (مستحاثات)

الصعود من أجل الهواء كانت الأكاثوستيكا. وهي حيوانات رباعية الأرجل مبكرة، تصعد إلى السطح في مستنقع (هيا) يعرف حاليا بشرقي كيريبات (قبل نحو 360 مليون سنة. ومع أن هذه الحيوانات كان لها أربع أرجل، فإنها لم تكن قادرة على حمل أجسامها على اليابسة. وبداء على ذلك لبدلا من تطوير الأرجل كتكيف للحياة على اليابسة، يبدو أنها هي البداية عملت على مساعدة الحيوان عن رفع رأسه خارج المياه القفيرة في الأكسجين لكي يتنفس. وأنها في وقت لاحق اكتشفت استخدامها للوصول إلى الشاطئ.

التي أدت إلى التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل. لقد عرفنا أن رباعيات الأرجل تطورت من أسماك لحمية الزعانف تماثل الأسماك الرئوية والأسماك المجوفة الأشواك *coelacanth* الحالية، وهي علاقة كان أول من اقترحها عالم الأحافير الأمريكي D.E. S. كوبه في أواخر القرن التاسع عشر، إلا أن تفاصيل هذا التحول الأساسي ظلت مختلفة عن الأنظار إضافة إلى ذلك، إن التقديرات عن متى أصبح هذا الحدث معروفا وظاهرا تختلف كثيرا وتتراوح من 400 مليون إلى 350 مليون سنة مضت خلال العصر الديفوني وقد تمثلت المشكلة في أن السجل الأحفوري الوثيق الصلة بالموضوع كان ضئيلا. ويتألف أساسا من سمكة وحيدة من هذا النوع - *Eusthenopteron* - وربياعي أرجل من العصر الديفوني - *Ichthyostega* - وكان متقدما جدا يصعب معه توضيح أسس رباعيات الأرجل وجذورها

ومع هذه المفاتيح الضئيلة والقاصرة لم يكن أمام العلماء سوى الحدس والظن في طبيعة تلك التحول. وربما كان أكثر السيناريوهات المعروفة الناتجة من هذا العمل التخميني ذلك الذي قاده عالم الأحافير الفقارية S. A. R. رومر [من جامعة هارفارد] الذي اقترح في الخمسينات أن أسماكاً مثل «يوسثينوبترون» جنحت تحت ظروف الجفاف واستخدمت أطرافها العضلية لتحريك نفسها إلى مساحة مائية جديدة وبمرور الوقت، هكذا اتجهت الفكرة. ثم انتقاء (انتخاب) تلك الأسماك القادرة على تغطية مسطحات أرضية أكثر والوصول إلى مصادر مائية أبعد، مما أدى أخيراً إلى شاة أطراف حقيقية. وبمعنى آخر، إن الأسماك خرجت من الماء قبل أن

تتطور لها أرجل.

ومن ناحية أخرى، ظهرت منذ ذلك الحين إلى حيز الضوء أحافير كثيرة تدعم هذا التحول وقد وسعت هذه الاكتشافات مفهومنا لهذه المرحلة الخطيرة من تاريخ الحياة على الأرض على نحو متزايد، وهاجمت الأفكار القديمة العامضة عن التطور المبكر لرباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة

إيجاد موطن قدم

كان بين أولى الأحافير المكتشفة التي تمهد الطريق لمفهومنا الحديث عن أصول

الخبراء، فإنه كشف عن قصة مختلفة عما كان متنبأ به فيها هنا كان مخلوق له أرجل وأقدام، ولكنه فيما عدا ذلك لم يكن مجهزاً للحياة على الأرض. فإطراف الأكانثوستيكا كان ينقصها رسغيات القدم *ankles* الحقيقية التي تدعم ثقل الحيوان على اليابسة وتبدو أكثر شيها بمجاديف للسباحة. ورغم أنه كانت لها رئات فإن ضلوعها الصدرية كانت قصيرة جداً لدرجة لا تسمح بمنع انهيار تجويف الصدر عند خروجها من الماء. وفي الواقع لا يمكن إنكار أن الكثير من مظاهر الأكانثوستيكا وخصائصها كانت تشبه الأسماك، فقد أوضحت عظام الساعد نسبياً تذكر بالزعفة الصدرية لسمكة

إن الكثير من الابتكارات الحاسمة نشأ فيما كانت هذه الحيوانات بعد مائة على نطاق واسع. ويبدو أن التغيرات الأولى لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد المتزايد على تنفس الهواء.

اليوسثينوبترون، كما أظهرت مؤخرة الهيكل ذبلاً عميقاً يشبه الجذاف تبدو به أشعة عظيمة طويلة كانت مجهزة غالباً كهيكل للزعفة. هذا إضافة إلى أنه كانت للحيوان خياشيم إلى جانب الرئات

ويوجي التشابه السمكي بأن أطراف الأكانثوستيكا لم تكن مكيفة للاستخدام في الماء فحسب. وإنما كانت أيضاً الحالة السليافية لرباعيات الأرجل. وبمعنى آخر، إن هذا الحيوان رغم كونه ربياعي أرجل بوضوح، فقد كان في البداية مخلوقاً مائياً. أسلافه المباشرة لم تترك الماء قط. وقد أجبر الاكتشاف الدارسين على إعادة التفكير في كيفية تسلسل حدوث قائمة التغيرات في الهيكل لقد أثبتت الأحافير الجديدة أن رباعيات الأرجل طورت هذه الخصائص وهي لا تزال تعيش في الماء، وأنها اختارتها للمشي لاحقاً، بدلاً من تصور أن مخلوقاً مثل يوسثينوبترون رُحف على اليابسة، ثم اكتسب أرجلاً وأقداماً: كما افترض «رومر» ومن ثم، فهذا يعني أن الباحثين كانوا بحاجة إلى إعادة النظر في الظروف الإيكولوجية

رباعيات الأرجل، تلك المخلوق يسمى «أكانثوستيكا» عاش قبل نحو 360 مليون سنة فيما هو حالياً شرقي غرينلاند. وكان أول تعرفه عام 1952 بواسطة «ج. جارفريك» [من المتحف السويدي للتاريخ الطبيعي باستوكهولم] على أساس سقفي جمجمتين غير كاملين، إلى أن عثرت زملائي عام 1987 على عيبت توضح الهيكل خلف القرنوي للأكانثوستيكا

ومع أن هذا الحيوان أثبت في كثير من الوجوه أنه تشريحياً وسطاً بين الأسماك ورباعيات الأرجل الكاملة النضج كما تخيلها

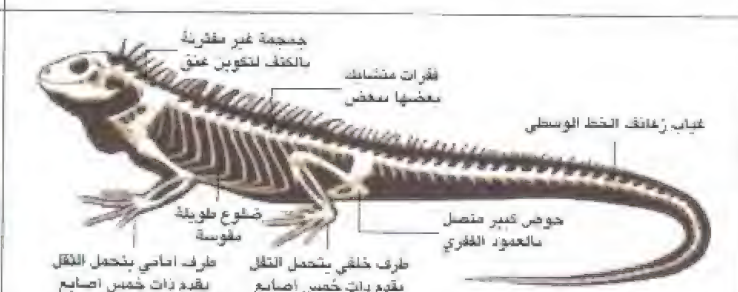
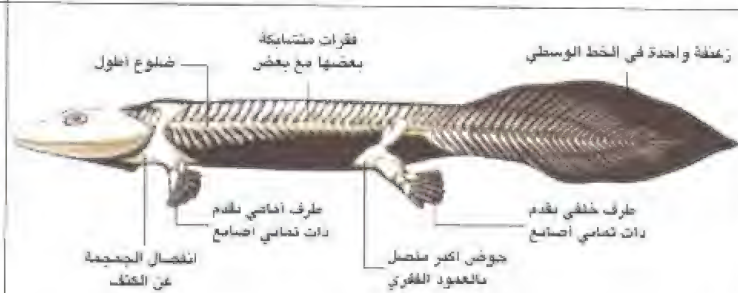
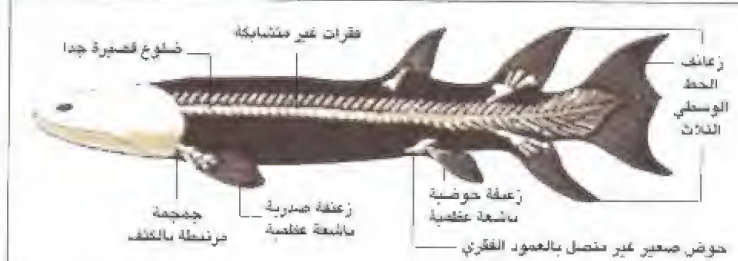
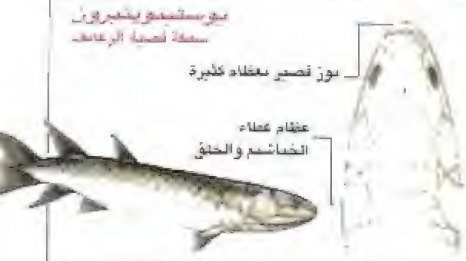
نظرة إجمالية/ أصل رباعيات الأرجل

- كان ظهور الفقاريات المتحولة إلى اليابسة حدثاً يعتبر حجر الزاوية في تطور الحياة على الأرض.
- لعقود، أربك السجل الأحفوري (الإحاثي) الرديء الجهود المبذولة لتتبع الخطى التي أدت إلى إنتاج رباعيات الأرجل الأرضية هذه من أسلافها السمكية.
- سدت الأحافير (المستحاثات) المكتشفة على مدى الـ 15 سنة الماضية الكثير من الثغرات في القصة، وأحدثت ثورة فيما هو معروف عن تطور رباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة. وتدل هذه المكتشفات الحديثة على أن رباعيات الأرجل قد طورت الكثير من خصائصها وهي لا تزال تعيش في الماء، كما أنها تبين أن الأفراد المبكرة للمجموعة كانت أكثر تخصصاً وأكثر انتشاراً جغرافياً وإيكولوجياً عما كان معتقداً.

التحول إلى رباعيات الأرجل

مع بعض، وأضخمت الزعنفة الذيلية وسلسلة من العظام التي ربطت الرأس بحزام الكتف (هياكل)، وهي الوقت نفسه استطال البوز واختفت العظام غطت الخياشيم والحلق (جماجم)

إن تطور رباعيات الأرجل الأرضية من أسماك مائية فصيلة الزعانف تضمن تحولاً جذرياً في الهيكل فمن بين تغيرات أخرى أصبحت الزعانف الصدرية والجوفية أطرافاً لها أقدام وأصابع، وأصبحت الفقرات متشابكة بعضها



Hedgehog تتحكم في عناصر تكوين الزعانف والأطراف وهذه المجموعات نفسها من الجينات توجد في الأسماك ورباعيات الأرجل ولكنها تؤدي وظائف مختلفة في كل منهما. فعلى سبيل المثال يبدو أن مثيلاتها *Hox 11* و *Hox 13* تقوم بدور أكبر في رباعيات الأرجل، وحيث تكون مناطقها في برعم الطرف أوسع ومبخرقة مقارنة بمثيلاتها في برعم الزعنفة بالأسماك وتتكون الأصابع في هذه المناطق ويبقى تحديد كيف تتطور القدم ذات الخمس أصابع من القدم ذات الثماني أصابع للأكانثوستيكا، ولكن لدينا تفسير مقبول للكيفية التي صارت بها القدم ذات الخمس

Turning Tetrapod (١٠٠)

الأصابع الخمس مباشرة من العظام المكونة لزعنفة اليوسثينوبيترون أو مخلوق مشابه له وكان من الجائز أن يصرف العلماء النظر عن ذلك، كالمعتاد، باعتباره عينة شاذة، غير أن هيكلاً جزئياً غامضاً للـ *تيسوليربيتون* *Tulerpeton*، وهو رباعي أرجل مبكر من روسيا سبق معرفته - كانت له قدم ذات ست أصابع، وعينات أخرى للأكانثوستيكا تم العثور عليها في أثناء بعثتنا إلى شرقي كرينلاند كشفت أيضاً عن قدم بأكثر من خمس أصابع

لقد ساعدت أبحاث البيولوجيا التكوينية على إزالة بعض هذا الغموض فنحن نعلم حالياً أن العديد من الجينات بما فيها سلسلة *Hox* والكشف الصوتي *Sonic*

التي أدت إلى نمو الأطراف. لأن الأكانثوستيكا أوضحت أن متطلبات الحياة على الأرض ربما لم تكن هي القوة الدافعة في تطور رباعيات الأرجل

احتلت الأكانثوستيكا مكانة الحلقة المفقودة بين رباعيات الأرجل الأرضية وأسلافها المائية: بيد أن خاصية من خصائص الأكانثوستيكا لم تكن تدعو إلى التذكير برباعيات الأرجل ولا بالأسماك كان كل طرف من أطرافها ينتهي بقدم تحمل ثماني أصابع حسنة التكوين بدلاً من الخمس المألوفة وكان هذا عجباً حقاً، حيث كان يعتقد علماء التشريح قبل هذا الاكتشاف أنه في أثناء التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل نشأت القدم ذات



افتتاحية بدائية: الأكتيوستيكا هي أبكر رباعيات أرجل معروفة أظهرت تكيفات للحركة غير السباحة، رغم أنه يبدو من المحتمل أنها تحركت أكثر شيها باللقمة منها إلى الفقاريات البرية النموذجية. وكان لهذا الحيوان أيضا بعض الخصائص المائية متضمنة ذبلا كبيرا وطرفين خلفيين يشبهان المجاذيف. إضافة إلى أن نمدو أيا من مخصصة للاستخدام تحت الماء. أما كيف قسمت الأكتيوستيكا وقتها بين عالمي اليابسة والماء فهو أمر لم يحدد بعد، لكنها ربما تكون قد جفرت اعشاشها لمبوضتها على اليابسة وصادت وتغذت في الماء.

نفس من الهواء الطلق

وبفضل هذه الاكتشافات والتحليلات الحديثة، أصبح لدينا حاليا بقايا لتسعة أجناس تدعى بالوثائق نحو 21 مليون سنة من التطور المبكر لرباعيات الأرجل، بل حتى وفكرة أكثر وضوحا عن كيف أصبحت الفقاريات مكيفة للمعيشة على اليابسة إن واحدة من أهم المفاجآت المتبعة التي تنتبئ من هذا العمل هي أنه، كما في حالة تطور الطرف، الكثير من الابتكارات نشأ فيما كانت هذه الحيوانات لا تزال مائية على نطاق واسع، وأن التغيرات الأولى التي تبدو أنها لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد الزائد على تنفس الهواء.

ومن الغريب بما فيه الكفاية أن هذا التحول في التهوية ربما استحدث التشكل التدريجي لحزام الكتف والزعنفتين الصدريتين وبالفعل، كأمع علماء البيولوجيا التطورية في تفسير ماذا فعلت الابتكارات الانتقالية مثل أكانثوستيكا بأطرافها البدائية إذا لم تكن الحركة ويقول الافتراض الفصل على أساس الأدلة السائدة بأنه في أثناء التحول التدريجي للزعانف المتجهة للخلف إلى أطراف تواجه الجانبين بمساحات كبيرة لاتصال العضلات، اكتسبت قوة. ومع أن الطرفين الأسامين تطلبا ملايين السنين

A Breath of Fresh Air

كان لحيوان رباعي الأرجل وقد أسفر المزيد من التقيب الاستكشافي في الموقع الأصلي لفنتاستيكا عن سرعة اكتشاف عينات أكثر، حيدة بصورة استثنائية، متضمنة جمجمة تكاد تكون كاملة.

وفي غضون ذلك تم اكتشاف عدد من الأسماك القريبة من رباعيات الأرجل تحسّر الشفرة المورفولوجية بين يوستينيوتيرون وأكانثوستيكا وكان علماء الأحافير قد تعرفوا جنسين من هذه الأسماك قبل عدة عقود ولكنهم لم يعمقوا النظر فيهما إلا حديثا. هما: يانديريكتيس *Panderichthys* ويراوح عمره بين 380 مليون و 375 مليون سنة، من منطقة البلطيق الأوروبية، وهي سمكة ضخمة لها بوزن مديوب وعينان في أعلى رأسها، و *Elpistostege* ويراوح عمره بين 375 مليون و 370 مليون سنة من كندا. وكان كبير الشبه في الحجم والشكل بالجنس يانديريكتيس. كانا، كلاهما، أكثر قربا لرباعيات الأرجل من يوستينيوتيرون. وفي العام الماضي (2004) اكتشفت بعثة إلى جزيرة اللبسمير في القطب الشمالي الكندي بقيادة عالم الأحافير «شوبين» [من جامعة شيكاغو] بعض البقايا الرائعة الجيدة الحفظ لسمكة أكثر شيها برباعيات الأرجل حتى من يانديريكتيس و *Elpistostege*. ولم يتسع «شوبين» وفريقه حتى الآن في وصف هذا النوع وتسميته رسميا، إلا أن الظاهر أنه سوف يكون حيوانا أسرا

أصابع هي نمط رباعيات الأرجل الخطأ، وهو أنه ربما ساعدت على تكوين روابط للرسغيات يتوافر فيها ثبات يكفي لحمل الوزن، ومرونة تكفي للسماح بطريقة انشئي التي ابتدعتها رباعيات الأرجل فيما بعد.

وقد لفتت الأكانثوستيكا أيضا الانتباه إلى جزء في التفسير المبكر لرباعيات الأرجل لم يلق ما يستحق من التقدير سابقا، وهو الناحية الداخلية للفك السفلي فالأسماك عامة لها صفان من الأسنان على امتداد فكها السفلي، بعدد كبير من الأسنان الصغيرة على الصف الخارجي مكمل لزوج من الأناب الضخمة وبعض الأسنان الصغيرة على الصف الداخلي وقد أظهرت الأكانثوستيكا أن رباعيات الأرجل المبكرة كان لها حطة سنية مختلفة: عدد صغير من الأسنان الأكبر على الصف الخارجي واختزال في حجم الأسنان على الصف الداخلي - وهي تغيرات ربما تكون قد صاحبت التحول من التغذية حصريا في الماء إلى التغذية على اليابسة أو برفع الرأس فوق الماء.

وقد مكنت هذه الرؤية الخبراء من تعرف المزيد من رباعيات الأرجل بين البقايا التي ظلت حبيسة أدراج المتاحف، وكان أحد أكبر هذه الاكتشافات إثارة جنس من العصر الديفوني المتأخر في لاتفيا يسمى فنتاستيكا *Ventastega*. وفي جلال التسعينات من القرن الماضي، وعقب اكتشاف الأكانثوستيكا، تبين للعلماء أن فكها سفليا، تم جمعه عام 1993

ولكن لماذا بدأت بعض الأسماك، بعد ملايين السنين من التنفس بنجاح تحت الماء، في التحول إلى الهواء للحصول على الأكسجين؟ تأتي مفاتيح الإجابة عن ذلك من شكل الجمجمة ككل والتي تبدو، في جميع رباعيات الأرجل المبكرة والقرية منها التي تم اكتشافها حتى

بدورها أكثر عظام الجمجمة انحداراً بقوّة
 مما يعطي ارتكازاً ثابتاً لعضلات العمود
 الفقري التي ترفع الرأس بالنسبة إلى
 الجسم، كما أدى التحام العظام المكوّنة للفك
 السفلي إلى تقوية هذه المنطقة وتسهيل طريقة
 «المضغّة القميّة» المفترضة لتهوئة رباعيات
 الأرجل، ففي هذا النوع من التنفّس
 المستخدم في البرمائيات والأسماك التي
 تنفّس الهواء، يتمدد التجويف الفمي
 وينقبض مثل المنفاخ ليتجرع الهواء ويدفعه
 إلى الرئتين، وربما تطلب الضخ الفمي قوّة
 أكثر للعضلات تحت تأثير الجاذبيّة الأرضيّة
 عنها في الماء، حيث تكون الكائنات تقريباً
 عديمة الوزن.

ليتطورا إلى الجند الذي يمكنهما من دعم الجسم على اليابسة فلا بد أنهما عملا خلال هذه الفترة على رفع رأس الحيوان خارج الماء، لكي يتنفس، وأن الأصابع قد سهلت هذا النشاط بالمساعدة على توزيع الحمل على الأطراف

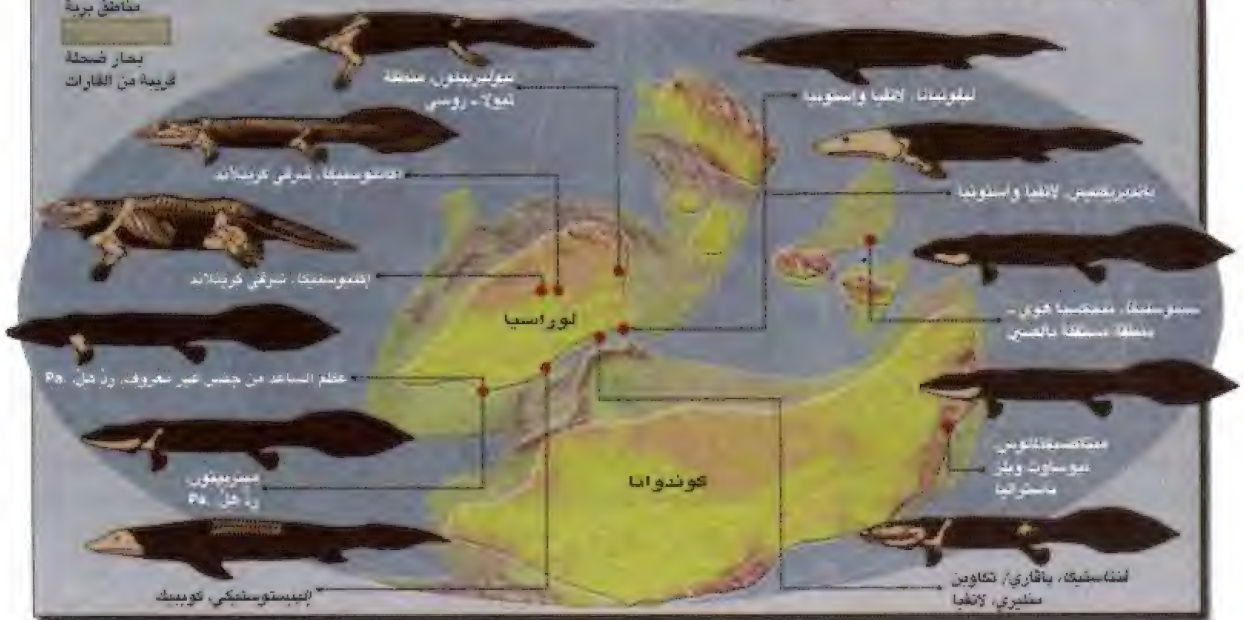
وقد أعلن فريق «شوبين» عام 2004 عن اكتشاف عظم الساعد humerus لرباعي رجل عمره 365 مليون سنة. يساند هذه الفكرة، ويظهر من هذا العظم الذي تم استخراجه بالحفر في منطقة غنية بالأحافير في شمال وسط بنسلفانيا تعرف رد هل (الجيل الأحمر) Red Hill. إنه كان مرتبطاً ببقيّة الجسم عن طريق رابطة مفصليّة من نوع الكرة والحقّ الذي لدينا ولدى جميع الفقاريات الأرضية، وهو نظام لا يسمح بطريقة للمشي ولكنه يمكن من الدفع لأعلى الذي يحتاج إليه ويستخدمه رباعي الرجل لالتقاط جرعة من الهواء، كما أنه يساعد الحيوان على التوقف مكانه في الماء بانتظار مهاجمة فريسة

لقد تطلب التنفس فوق سطح الماء أيضا عددا من التغيرات في الجمجمة والفك ففي الجمجمة استطال البؤر وصارت العظام المكونة له أقل عددا ودروزها أكثر التحاما بعضها ببعض لتقوية البؤر بطريقة مكنت الحيوان من رفعه خارج الماء في وسط غير مدعم وأصبحت العظام في مؤخرة الرأس

مكتشفات العصر الرقمي^(١)

لقد اكتشفت أحافير (مستحاثات) رباعيات الأرجل المبكرة والأسماك القريبة من رباعيات الأرجل في مواقع تتسبب بعيدا حتى شمال غربي الصين وشرقي الولايات المتحدة، ونتيجة لذلك يبدو واضحا حاليا أن هذه الحيوانات عاشت في جميع

المناطق الحضرية وشبه الحضرية من المساحات الواسعة القديمة لإراضي لوراسيا وكونغوانا. ويبدو أن أول ربايعات الأرجل قد استوطنت بيئات المياه العذبة والمياه المسبوسة المتوسطة الملوحة بدلا من المياه البحرية الخالصة.



الكيفية للباسية للألوان السنين، وفي الوقت نفسه يبدو أنه عمل في رباعيات الأرجل التي لا تزال مائة كمكون تركيبي للحممة وهذه التغيرات الهيكلية مجمعة استلزم تغييرات تحويلية في نظرتنا إلى رباعيات الأرجل المبكرة. فقد تبينت (الكاميرا) (الخيمر) الخرقاء ذات الخيال الشعبي التي لا تالئم الماء، ولا الباسية فما كان بعد في وقت ما أعمالاً تطويرية جارية - مثل طرف أو أن غير كأطلة النمو - تعرف حالياً أنها كانت تكيفات في حد ذاتها، فهي لم تكن ناجحة دائماً، ولكنها مع ذلك كانت تكيفات. وفي كل مرحلة من مراحل هذا التحول كان المتكرون ينفذون نحو بينات جديدة، بل إن البعض مما كان في الواقع على أعلى مستوى من التخصص لعمل ذلك

الخروج من القالب¹⁰⁰

وعلى العموم، إن رماعات الأرجل ذات
الاطراف والفريية منها المكتشفة حتى الآن

Devonuzi Discovers...
Breaking the Mold (4+)

ماندريكيتيس على أنها كانت قادرة على أن تعترض موجات صوتية أكثر، وبذلك تريد من قدرة الحيوان على السمع

لقد كانت التحورات في منطقة الأذن مستترة أيضا بالتحورات في الجهاز الخبيثيومي. ولعلهم، فإن عظمة تعرف بالفكبة التلامية - تنسق حركات الغذاء والتنفس في الأسماك - تضالحت في الحجم واستقرت في حفرة في العلة الدماغية، وأصبحت العظم الركابي stapes وفي رباعيات الأرجل المعاصرة يقوم العظم الركابي بتكبير الموجات الصوتية ونقلها من طبلة الأذن عبر المجال الهوائي في الحلق إلى الأذن الداخلية (وفي الثدييات، التي تمتلك جهازا سمعيا فريدا، يشكل العظم الركابي واحدا من عظيمات الأذن الوسطى الثلاث) لا بد أن المرحلة الأولى من التحول قد حدثت سريعا، حيث كانت في الموضع الملائم عندما ظهرت الاكانتوستيكا، ومن المحتمل جدا أنها نشأت مرادفة للتحول من الزغائف إلى الأطراف ذات الأصابع. ولكن العظم الركابي لم يأخذ دوره المألوف كمكون للأذن السمعية ذات الطبلة

الفحص الدقيق لمنطقة الأذن أحد هذه التطورات. إن الكثير من تفاصيل هذا التحول مازال غير معروف، ولكن من الواضح أننا - حتى في الأسماك الشبيهة برياعيات الأرجل التي لا يزال لها زعانف، ومن بينها، باندريكتيس - نجد أن الحزب الواقع من الجمجمة خلف العينين صار أقصر منسحباً مع انكماش المحفطتين اللتين تؤويان الأذنين الداخليتين. وإذا كانت، كما يوحي الدليل من البيئة القديمة، أسماك باندريكتيس عاشت في مسطحات أو مصبات جزرية ضحلة فإن اختزال الأذن الداخلية قد يعكس التأثير المتنامي للجاذبية في الجهاز الدهليزي الذي ينسق التوازن والتوجيه. وفي الوقت نفسه، لعل الزيادة في حجم الحجرة الهوائية في الحلق ساعدت حاسة السمع. وفي بعض الأسماك المعاصرة «يمسك» كيس الهواء بالموجات الصوتية ويمنعها من المرور مباشرة إلى جسم الحيوان، ثم تنتقل من هناك بواسطة العظام المحيطة إلى الأذن الداخلية وتدل الحجرة الهوائية المتسعة الواضحة في أسماك

كانت جميعها حيوانات ضخمة يصل طولها نحو المتر، وكانت تفرس تشكيلة متنوعة من اللافقاريات والأسماك من دون تمييز أو تخصيص. من ناحية أخرى بدأنا نجد استثناءات لهذه القاعدة من عدم التخصصية. منها ليفونيانا *Levoniina* التي اكتشفها في أحد متاحف لاتفيا *E P*. البركة [من جامعة أوبسالا بالسويد] عام 2000. ويمثل هذا الحيوان ببعض أجزاء الفك السفلي التي تبدي اشكالا عجيبة، عبدا من الصفيين المألوفين من الأسنان التي تغطي كلا من جانبي الفك هناك سبعة صفوف ولا نعرف ماذا كانت تلتهم الليفونيانا بهذه

يشبه اللعقة، من المفترض أنه كان يجتز استجابة للصوت الذي يصطدم مباشرة بهوا. الحجر. وينقل هذه الاهتزازات إلى الأذن الداخلية من خلال ثقب في جدار العلبة الدماغية ويدل هذا الترتيب على أن الإكتيوستيكا قد أمضت وقتا طويلا في الماء. وبالمثل فإن الزعنفة الذيلية للحيوان وطرفيه الخلفيين اللذين يشبهان المحاديف توحى بأسلوب الحياة المائية.

إضافة إلى ذلك فإن بعض الأجزاء في هيكل الإكتيوستيكا تنم عن القدرة على التجول على اليابسة، فقد كان لها كتفان وساعدان في غاية القوة كما كانت ضلوع

مع أن لدينا حاليا تفسيراً جيداً لماذا

تطور الطرفان الأماميان بالطريقة التي تطوراً بها، فإنه ينقصنا تفسير لمنشأ الطرفين الخلفيين، حيث لا تتضمن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن ما يستدل به عنهما.

الأسنان التي تشبه حبات الذرة على مطرهما (غريوسها)، ولكن غالبا ما كان لها وجبتها الغذائية المختلفة عن وجبة أخواتها

وتشير الدراسات المتجددة على أولها غرف من رباعيات الأرجل الإكتيوستيكا، إلى أنها - أيضا - حادت عن الصورة المعتادة، بعكس الأفكار الأولى التي كانت متصورة وطالما حيرت منطقة الأذن والأجزاء المتصلة بها في العلبة الدماغية للإكتيوستيكا العلماء والباحثين، لأنها تبدي بنية تختلف عن الموجودة في أي رباعي أرجل آخر أو سمكة من أي عصر. ولكن بمساعدة أحافير جديدة وتحضيرات جديدة لعينات سبق جمعها، وفوق هذا بالأشعة المقطعية الحاسمة للعينات، بدأت ورمالاني نفهم عمليا هذه البنية الغامضة ويبدو أن أفضل التفسيرات هو أن الإكتيوستيكا كان لها أذن عالية التخصص، ولكنها كانت معدة للاستخدام تحت الماء، فبدلا من أن يكون لها طيلة أذن كما في الكثير من الحيوانات البرية المعاصرة، كان لها على كل جانب من جانبي الرأس حجرة مقواة الجدر العليا والجانبية ممثلة بالهواء. ويمتد في قاعها الغشائي عظم ركناني رفيع

الصدر عريضة جدا ومتراكبة. مكونة مشدا يمنع التجويف الصدري والرتين من الانطواء والانهيان عندما تكون على الأرض. ومع ذلك من المحتمل أن الإكتيوستيكا لم تتحرك مثل حيوان فقاري بري نموذجي، ففقص الضلوع كان يحد من الموجات الجانبية للجذع التي تحدث نموذجيا في حركة رباعيات الأرجل وعلى خلاف الأسماك والاكاثيوستيكا ورباعيات الأرجل المبكرة الأخرى. كان للإكتيوستيكا أشواك على الفقرات متغيرة الاتجاه على امتداد العمود الفقري مشيرة إلى أن العضلات التي تدعمها كانت مخصصة لوظائف مختلفة وأنها كانت تتحرك بأسلوب فريد. إن هذا الترتيب المتعدد الاتجاهات لأشواك العمود الفقري يماثل الوجود في الثدييات حاليا ولكنه لم يكن معروفا في رباعيات الأرجل الديفونية حتى درسنا الإكتيوستيكا وجملة القول إن هذا الدليل الجديد يدل على أنه بدلا من الانحناء في المستوى الأفقي، كما يحدث في جسم السمكة. فإن جسم الإكتيوستيكا كان ينحني أساسا في مستوى رأسي، ولا يبدو أن الطرفين الخلفيين اللذين يشبهان المحاديف

قد أسهما بالكثير في الدفع الأمامي في أثناء الحركة. ولكن الطرفين الأماميين الضخمين والكثيفين العريضين قامت بذلك. وعلى ذلك ربما كانت الإكتيوستيكا تتحرك على الأرض أكثر شبها بالقمة برفع ظهرها أولا. ثم بالتقدم بطرفيها الأماميين في الوقت نفسه. وأخيرا بسحب بقية جسمها للأمام

في الشهر 9. قمت و«البركة» و«هنگ بلوم» [من جامعة أوبسالا] بنشر ورقة علمية تتضمن تفاصيل ذلك في مجلة *Nature* وإذا كنا على صواب فإن الإكتيوستيكا تعتبر أول الفقاريات المسجلة التي تبدي بعض التكيفات للحركة غير السباحية ومن المستحيل أن نقول بكل تأكيد ماذا كانت تفعل الإكتيوستيكا على الشاطئ، ربما كانت تاكل الأسماك اللقاة على الشاطئ ولكنها كانت تتكاثر في الماء. وفي هذه الحالة ربما استخدمت أذنها المتخصصة للإنصات لأزواجها المحتمة (يستدعي هذا السيناريو أن الإكتيوستيكا كانت تحدث ضجيجا وتنصت إليه). والبديل الآخر أن الإكتيوستيكا كانت تاكل في الماء وتنصت على الفرائس هناك فيما كانت تستخدم طرفيها الأماميين في حفر أعشاش للبيض على اليابسة. ومع ذلك فإن تصميم جسمها الفريد حكم عليه بالإخفاق في النهاية، حيث لا توجد أحافير متأخرة عن 360 مليون سنة يحسب سببها بكل ثقة إلى نسل الإكتيوستيكا. لا شك أن هناك الكثير من التصاعيم التي خلفتها خلال مراحل تطور رباعيات الأرجل المبكرة. وسوف تكون هناك حاجة إلى مزيد من الدراسة لتأكيد هذه الأفكار، إلا أن البيانات الأخيرة تثبت أن رباعيات الأرجل الديفونية كانت أكثر تنوعا عما كان مقبولا من قبل. نحن نتعلم نوقع المزيد من هذه المفاجآت عندما تصبح هذه الحيوانات معروفة بدرجة أفضل

إذا امتلكت أرجلاً، أمكنك الترحال

لقد أدت الأحافير التي اكتشفت على مدى العقدين السافدين إلى أكثر من السماح للعلماء بتتبع الكثير من التغيرات في هيكل رباعيات الأرجل. إذ إنها قدمت بصرنا حديثة لى تطورت هذه المخلوقات

Have Legs, Will Travel (١)

وآين، نحن حالياً متأكدون بدرجة معقولة أن رباعيات الأرجل قد نشأت قبل 380 إلى 375 سنة في العصر الديفوني الأوسط المتأخر، وهو مدى تاريخي أكثر إحكاماً مما افترضه الباحثون سابقاً، كما قررنا أن الممثلين المبكرين لهذه المجموعة كانوا منتشرين في جميع أنحاء العالم

كانت رباعيات الأرجل الديفونية منتشرة في أنحاء العالم تمتد من مواقع هي حالياً الصين وأستراليا، وهي التي ظهرت فيها مخلوقات تعرف باسم «سينوستيكا» *Sinustega* و«ميناكسيكتاوس» *Metaxygnathus* على الترتيب، إلى شرقي الولايات المتحدة، حيث تم العثور على عظم المساعد من «رد هيل» وحيوان يسمى «هينريبتون» *Hynerpeton* ويوضع مناطق الأحافير على خريطة زمنية قديمة تجد أن هذه الحيوانات استوطنت جميع المناطق المدارية وشبه المدارية لقارة عظمى تتضمن لوراسيا *Laurasia* في الشمال وكوندوانا *Gondwana* في الجنوب إن توزيعها وانتشارها في جميع المناخات الدافئة تقريباً يعتبر ميثاقاً على مدى نجاح هذه المخلوقات

أقامت رباعيات الأرجل الديفونية في مدى واسع من البيئات في هذه المواقع، وتشير الترسيبات في شرقي كرينلاند، وهي التي كانت الأولى في تقديم هذه المخلوقات، إلى أن المنطقة في وقت ما كانت حوضاً لنهر عريض تسوده فيضانات دورية تتبادل مع ظروف أكثر جفافاً لقد كان النهر في الأصل نهراً للمياه العذبة بلا جدال، ولذلك شكّل الأساس في الحكمة المتلقاة عن البيئات التي تطورت فيها رباعيات الأرجل، إلا أن اكتشاف

مخلوقات مثل «فناسستيكا» *Ventastega* و«تيوليربيتون» *Tulerpeton* في ترسيبات تمثل امكثة ذات درجات ملوحة مختلفة أدى إلى الارتباب في حقيقة هذا الأمر لقد أثبت موقع رد هيل في ينسلفانيا أنه غني بصفاة خاصة في تقديم قرينة لرباعيات الأرجل بوجود أنواع كثيرة من الأسماك واللافقاريات والمبنيات ومثل ترسيبات شرقي كرينلاند، هو يمثل حوض نهر، إضافة إلى ذلك، توحي الدراسات البيئية القديمة بأن مناخ المنطقة كان معتدلاً بدلاً من الظروف البيئية المرتبطة

بمكتشفات كرينلاند، وبمعنى آخر، إن رباعيات الأرجل المبكرة ربما كانت حتى أكثر انتشاراً مما كنا نعتقد

مهمة لم تكتمل

ما زال أمامنا الكثير لتتعلمه عن التغيرات التشريحية التي صاحبت نشأة رباعيات الأرجل، فمع أن لدينا فرضية معقولة عن لماذا تطور حزام الكتف والطرفان الأماميان بهذه الطريقة، ينقصنا تفسير ملائم لنشأة معقد الطرفين الخلفيين القوي - وهو السمة المميزة لرباعيات الأرجل - لعدم تضمن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن تفسيراً لها باستثناء عينات من الإكتيوستيكا والاكاثوستيكا التي تحتفظ بهذا الجزء من التشريح وفي كلا الحيوانين يبدو الطرفان الخلفيان حسني التكوين لدرجة يصعب معها إظهار كيفية اتخاذهما هذا الشكل ومن المؤكد أنه لا يوجد سيناريو واحد يفسر جميع مراحل التحول ونريد أيضاً أن نحصل على صورة أكثر وضوحاً عن ترتيب التغيرات التي حدثت في الهيكل مثلاً، متى تطور الطرفان الخلفيان بالنسبة إلى الطرفين الأماميين والأذن

سوف يؤدي اكتشاف المزيد من الأحافير إلى إزالة بعض هذا الغموض، وكذلك تفعل التبصرات في البيولوجية التكوينية التطورية وعند هذا الحد تبدأ دراسات ميكانيكية التحكم الوراثي التي تحكم تكوين منطقة الحياشيم في الأسماك ومنطقة العنق في الثدييات والطيور، بتقديم تلميحات عن العمليات التي تميز كلا من رباعيات الأرجل

والأسماك وأياًها تتفرد به رباعيات الأرجل وعلى سبيل المثال، إننا نعرف أن رباعيات الأرجل فقدت جميع العظام التي تحمي الحياشيم في الأسماك، إلا أن الجينات التي تحكم تكوينها ما زالت موجودة في الفئران، حيث تؤدي وظائفها بطريقة مختلفة، كما أننا نؤكدنا أن المسارات الكيميائية الحيوية التي تشرف على تكوين الأطراف - في منطقة العنق قد انهارت ومع أن علماء البيولوجيا يستطيعون بسهولة حث نمو أطراف إضافية على خاصرة رباعي الأرجل، إلا أن ذلك لا يمكن إحداثه في منطقة العنق وعندما طورت رباعيات الأرجل عنقاً لها، حدث ما يمنع الأطراف من النمو هناك

وهناك أسئلة أخرى يجد صعوبة أكثر في الإجابة عنها وقد يكون شبننا راعنا أن نعرف أي واحد من السياقات البيئية الكثيرة التي ظهرت فيها أحافير رباعيات الأرجل، عزز الأفراد الأولى لهذه المجموعة (إن الدليل متاح يشير فقط إلى أن هذه الحيوانات لم تظهر أول مرة في مواقع بحرية بالضبط) ونود أيضاً أن ندرك تماماً الضغوط التطورية التي كانت تعمل في أثناء كل مرحلة من مراحل التحول ولعدم توازن سجل أحفوري جيد أو إمكان الاستعانة بآلة زمنية، فربما لن نتمكن أبداً من ملء أجزاء اللغز المحير لتطور رباعيات الأرجل معاً، ولكننا بالعمل المستمر يمكننا أن نتوقع سد الكثير من الثغرات المنهجية في قصة كيف اكتسبت الأسماك الأرض اليابسة

Unfringed Business

المؤلفة

Jennifer A. Clack

استاذة فائزة في علم أحافير (أبحاث) العقاريات، وقد حصلت على الدكتوراه في العلوم من جامعة كمبريدج وتتركز أبحاثها على أصول رباعيات الأرجل منذ 360 عاماً وهي زميلة الجمعية اللينينية

مراجع للاستزادة

Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods. Jennifer A. Clack. Indiana University Press, 2002.

The Emergence of Early Tetrapods. Jennifer A. Clack in *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology* [in press].

Scientific American, December 2005

الترجمة الآلية ما زالت هدفا بعيد المنال

تبعث الطرائق الإحصائية الأمل بانتشال الترجمة الآلية من الدوامة.

(د. ستيفن)

أواخر الستينيات دعمت القوات الجوية الأمريكية شركة صغيرة تدعى سيستران Systran صممت مترجما آليا - استخدمت نسخته المتوافرة على الإنترنت في ترجمة الفقرة الأولى الواردة في مطلع هذه المقالة - للتعامل على نحو أولي مع الكم الهائل من الوثائق الروسية المطلوب ترجمتها إلى الإنكليزية حينذاك.

ويرتكز مترجم الشركة سيستران على قواعد حول اللغة الأصل - واللغة الهدف - باللغة المنشودة. كما هي الحال في منظومة الدماغ، الأصلية التي وضعتها الشركة IBM، مستندة إلى ست قواعد بدائية تحكم النحو syntax والدلالة semantics وما شابه. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تترجم الكلمة "n" بالروسية من قبل حاسوب 701 إلى اللغة الإنكليزية بالكلمتين "of" أو "about" فإذا تلت الكلمة "n" الكلمة "nauka" أي (العلم أو "science" بالإنكليزية). فإن الحاسوب يبحث عن القاعدة المناسبة التي تشير عليه بترجمة "n" إلى "of" بالإنكليزية - أي إن العبارة الروسية "nauka o" تترجم إلى الإنكليزية "science of" بدلا من "science about".

تعتبر الشركة سيستران، التي تتخذ باريس مقرا لها، أكبر شركة للترجمة الآلية في العالم ومع أن لائحة زبائنها تضم كوكب Google و Yahoo و AOL التي تمتلكها الشركة تايم وارنر Time Warner - فإن عائداتها السنوية لم تتجاوز 13 مليون دولار عام 2004 - وهذا ضمن سوق للترجمة بفروغها تقدر قيمتها الإجمالية في كافة أنحاء العالم بعشر بلايين دولار سنويا. ويقول (د. ساباثا كاكيس) رئيس مجلس إدارة سيستران ومديرها: «إننا صغار جدا، لكننا الأكبر»

ما في إحدى اللغات لكلمة أو عبارة في لغة أخرى - ستقرب، في آخر المطاف، الترجمة الآلية من الأداء البشري

أصعب من لعبة الشطرنج

إن التزايد المستمر في قدرات العتاد الحاسوبي (الكيان الصلب) والخوارزميات البرمجية اليوم قد مكن الحاسوب من التفوق على أساطين الشطرنج. ولنتذكر انتصار حاسوب شركة IBM الفائز supercomputer المدعو Deep Blue على «د. كاسباروف» عام 1997. لكن، بصورة عامة، فإن الترجمة الآلية لم تشهد إلا تقدما متقطعا خلال سنينها الخمسين - بل إن بعض القاد برور سماحة لا تستحقها الترجمة الآلية حتى في هذا الشخص IBM ففي عام 1954 استعرضت الشركة IBM وجامعة جورج تاون ترجمة ما يفوق ستين جملة من اللغة الروسية إلى اللغة الإنكليزية وذكر البيان الصحفي الذي أصدرته الشركة IBM بتاريخ 1954/1/8، باعتزاز: «تمت اليوم لأول مرة ترجمة اللغة الروسية إلى الإنكليزية بوساطة دماغ إلكتروني». وترقبت الجهات العسكرية كما توقع علميو الحوسبة استخدام الترجمة الآلية على نحو روتيني خلال خمس سنوات، لكن لم تتحقق توقعاتهم.

وفي عام 1966 أعلنت اللجنة الاستشارية لمعالجة اللغة الآلية، التي تدعمها حكومة الولايات المتحدة، أن الإنسان قادر على القيام بالترجمة على نحو أسرع وأدق ويتصف بالتكلفة التي تقتضيها الترجمة الآلية. واختتمت الدراسة بالقول: «في المنظور المباشر أو المتوقع ليس هناك من أمل بالوصول إلى ترجمة آلية ذات فائدة»

ومن ثم شحت الموارد المالية المخصصة لأبحاث الترجمة الآلية ولم يتحقق سوى تقدم متواضع خلال العقود التالية وفي

أسطورة الصوديوم نيبال آسيا الأسد، الساحرة، خزانة ملابس الروح الشريرة «تفتقر أصلا الروح الشريرة تمتنع عن الثلاثية» غني بالنكهة الشاعرية والفنية، ولم تسع «نود هارلي» القصة المتسلسلة لديها المسرة اللامنتهية التيار التحتي سيكوي إحصاريا

إن الهراء في الفقرة السابقة ما هو إلا ترجمة من الصينية إلى الإنكليزية أجريت باستخدام Altavista's BabelFish وهو مترجم آلي شائع الاستخدام، تستضيفه التافيسنا على شبكة الإنترنت. وبلغة إنكليزية متماسكة، وضعت، باللغتين الصينية والإنكليزية في موقع صحيفة China Post النايونية على الوب، نقرأ هذه الفقرة على النحو التالي

إن «سجلات نارنيا» لا تداني، من حيث رؤيتها الشعرية، ثلاثية «سيد الخواتم» ولا تضرر الخفايا المظلمة التي تجعل سلسلة «هاري بوتر» ساحرة بلا حدود

توضح هذه الفقرة أن الترجمة الآلية أو MT، كما يُرمز إليها أحيانا، هي من أكثر فروع حقل الذكاء الاصطناعي تخلفا. على ما يجابه هذا الحقل من مصاعب كنادا، إذ يكفي ورود اسم علم في النص، أو بضع عبارات مصاغة بعناية، لتضليل برمجيات الترجمة الآلية بصورة تامة. ومع ذلك، وخلال السنوات القليلة الماضية، أدخلت مقارنة بضخمة جديدة الحياة ثابية في أوصال الترجمة الآلية: إذ يقدر مطورو برمجيات الترجمة الآلية أن طرائق القوة الساحقة في الحوسبة - وهي طرائق لتحديد احتمال مطابقة كلمة أو عبارة

THE ELUSIVE GOAL OF MACHINE TRANSLATION
Tougher Than Chess
artificial intelligence
brute-force computing methods
source
target

Ich fliege nach
Tengo

I fly to Canada
I am thirsty



برقية من برقيات الانباء من العربية أو الصينية إلى الإنكليزية وقد ذكر «أوك» أن إدخال نصوص تقابل في مجموعها مضمون مليون كتاب إلى برمجيات الترجمة الآلية كان مفتاحا لتحسين الأداء. ويقابل «أوك» أداء منظومة الترجمة الآلية التي تستخدمها كوكل (سيستران) حاليا، بالمنظومة التحريية التي صاغها هو وزملاؤه

منظومة كوكل/سيستران
الطبيب يشير، إن الخواة البراقة
تعيد التنظيم تستعيد عافيتها
ال تغريبا شهر واحد
منظومة كوكل التحريية. «صرح
ال أطباء أن «أكهينيو» ملزم ببرنامج
من الراحة يستغرق قرابة شهر»

لقد وضع الاهتمام الذي ولّته الترجمة الآلية الإحصائية سيستران في موقع دفاعي ويعلّق «ساباتاكيس» بالقول «أنك تحتاج إلى قواعد عند تعلّم لغة أجنبية ما، ولا يتعلم المرء لغة بالطرق الإحصائية وحدها» ويقول ساباتاكيس إن سيستران تستخدم طرقا إحصائية عندما تطور منظومات للترجمة الآلية للعمل ضمن حقول ضيقة، مثلا، من أجل ترجمة وثائق برارات الاختراع لكن تبني طرق إحصائية على الصورة التي يتبعها حاليا فريق «أوك» يكاد أن يكون تقنية التسويق وممارات الشركة تستخدم خمسين موظفا في البحث والتطوير، من بينهم لغويون ويتابع «ساباتاكيس» أن الفرق الرئيسي بين سيستران وكوكل هو ادعاء

no More Rules...
Google is a Winner...

عن متابعة جهودها في هذا المضمار فهي أواخر التسعينات كانت ترجمة صفحة واحدة فقط تستغرق يوما كاملا لكن الظروف أخذت بالتحوّل بعدئذ فقد ولدت شبكة الانترنت نمووا سريعا في النصوص النصّمة التي وضعت بلغتين كما فرضت الانترنت الحاجة إلى الترجمة على نحو لم يكن من المستطاع تليتها على الإطلاق من قبل البشر

وفي عام 1999 عقدت المؤسسة الوطنية للعلوم (NSF) ورشة عمل في جامعة جونز هوكنز استهدفت الوصول إلى مجموعة من الأدوات البرمجية التي يمكن تعميمها ضمن المجتمع العلمي. وقد اجتذبت هذا الحدث الاهتمام وحفز نشاطا جيدا في مضمار الترجمة الآلية وفي عام 2002 أسس واحد من المشاركين في ورشة العمل هذه، وهو «K. نايت» [من الجامعة U.C.S.] مع «D. ماركو» [من الجامعة ذاتها] شركة اسموها لانكويج ويثر Language Weaver (أو نساج اللغة). وهي الشركة الوحيدة للترجمة الإحصائية وتدعي هذه الشركة حاليا أن بإمكانها ترجمة 5000 كلمة في الدقيقة من الإنكليزية إلى العربية والفارسية والفرنسية والصينية والإسبانية، وبالعكس

كوكل رابحة

وظّفت كوكل «A. أوك» وهو أحد المشاركين في ورشة العمل المذكورة آنفا وخريج الجامعة U.C.S. وفي صيف عام 2005 تفوّقت منظومة كوكل التي صمّمها «أوك» والتي كانت وقتها في الطور التجريبي، على منافساتها، بالمنظومة التي وضعتها الشركة IBM، لترجيح الجوائز في جميع الفئات التي تضمنتها عسابقة نظّمها المعهد الوطني للمعايير والتقانة، لترجمة ستة

لا مزيد من القواعد

بجهد الخبراء واللغويين العاملون في منظومات الترجمة الآلية المستندة إلى القواعد. لصياغة معاجم ضخمة وقواعد تتعلق بالحواسيب النحوية والدلالية لتوليد نصّ مترجم إلى اللغة الهدف وتتضمن المنظومات التي باتت متوافرة في الأسواق عشرات الآلاف من قواعد النصوص لمجموعة تضم مئات الآلاف من الكلمات

وابتداء من أواخر عام 1980 وضّعت الشركة IBM منظومة للترجمة من الفرنسية إلى الإنكليزية سميت كانديد Candeide لا تتطلب معرفة لا بالقواعد grammar ولا بالنحو syntax. وقد تجنبت المنظومة تبني القواعد مفضّلة النظر إلى نصوص مترجمة، وبطاقة الكلمات بين اللغتين (تقوم المنظومات الأكثر حداثة باستخدام عبارات كاملة بدلا من محدد كلمات) وتستنبط في نهاية المطاف احتمالات - استنادا إلى نظرية بايز - Bayes - لتقدير ما إذا كانت كلمة إنكليزية توفر ترجمة صحيحة للكلمة التي تقابلها بالفرنسية

وقد توجّهت مقاربة أخرى، اقتصرصت على تحليل عدد كبير من النصوص باللغة الإنكليزية، لتقدير ما إذا كانت الكلمة التي تُرجمت إلى الإنكليزية تتناسب من حيث قواعد اللغة مع ما يحيط بها من كلمات، بحيث يمكن استخدام الكلمة أو العبارة التي تمتلك الاحتمال الأكبر، من حيث تناسبها مع ما يحيط بها من كلمات. في «فك رموز» أو ترجمة النصوص مستقبلا - ومن ثم ضمّ الكلمات المترجمة الواحدة مع الأخرى لئلا وثائق مكتملة فإذا أظهرت الإحصائيات أن الكلمة powderie مثلا، تقابل اعتياديا كلمة «لح هباب» blowing snow فإن هذا يعتبر، من حيث

البدء، غاية الأرب

وقد توقّفت الشركة IBM في نهاية المطاف

ترجمة آلية إحصائية⁽¹⁾

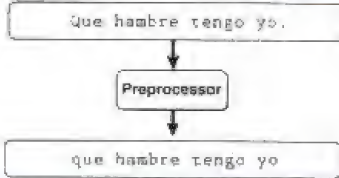
إدخال نصوص تمت ترجمتها سابقا
تشكل النصوص المترجمة أصلا من مصادر عديدة أساسا للترجمات المؤتمتة



أثبتت الطرق الإحصائية كفاءة تفوق ما لغبرها من طرق
الترجمة الآلية المؤتمتة التي تستند إلى قواعد صاغها
المترجمون البشر

وتستغل الطرق الجديدة للترجمة الآلية القوة الهائلة التي
تمتلكها الحواسيب حاليا، فتحلل بسرعة فائقة نصوصا
مترجمة أصلا لتحديد الاحتمال أن كلمة أو عبارة في اللغة
الواحدة تطابق نظيرة لها في اللغة الأخرى

معالجة مسبقة preprocessing يتم مسح النصوص ومقارنتها وإصاغها (formated)



عطاية العبارات في النصوص المترجمة
يتنقي نموذج الترجمة عبارتين اسميتين أو ثلاثا من لغة المصدر (وهي الإسبانية في هذا
المثال) نطاق اللغة الهدف (الإنكليزية)

اللغة الأصل: الإسبانية

Este guiso tradicional se
enoblece con el bogavante,
la viera y el rodaballo
(Que hambre tengo yo)

اللغة الهدف: الإنكليزية

This traditional stew is
refined with scallops,
lobster and turbot
(so (so hungry)

Que hambre tengo yo

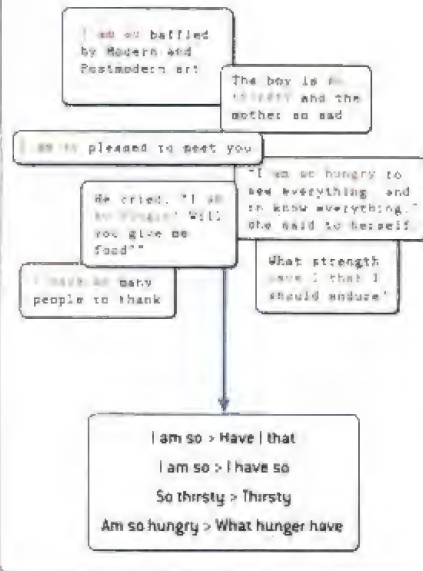
I				
am				
so				
hungry				

نموذج الترجمة

موساطة استخدام الطرق الإحصائية
لقياس كم من المرات وأين تظهر
الكلمات في عبارة ما في اللغتين
بشأن نموذج الترجمة نمطا لإعادة
ترتيب الكلمات ويستغل النموذج
أيضا تقنيات أخرى: كاحضار عدة
كلمات بالإسبانية تتقابل كلمة
مترجمة واحدة (غير معروفة)

نموذج اللغة

اطلاقا من التحليلات الاحصائية المبراة على نصوص
وضعت فقط بالإنكليزية. يسعى نموذج اللغة إلى التنبؤ بتوزيع
الكلمات والعبارات الأكثر احتمالا في النص المترجم أصلا
ويشير التواتر الأكبر لويرد عبارة ما إلى احتمال صحتها



مفكك الكود (المفسر) عندما يتم إدخال جملة جديدة وتختلف قليلا أو كثيرا عن النص الذي تمت معالجته، (هذا لا يمكن الاستعاضة
عن hambre إلا بـ sed) - يقدم مفكك الكود (المفسر) عدة ترجمات افتراضية. ومن ثم يتنقي تلك الأكثر احتمالا من بينها

النص المُدخل

مفكك الكود (المفسر)

الترجمة

Que sed tengo yo.

I am so thirsty	P = 0.13
What thirst have I	P = 0.09
Have I what thirst	P = 0.07
Thirsty I am so	P = 0.00

I am so thirsty.

الأخيرة أنها لا تحتاج إلى الصينيين أصلاً لتطوير تطبيقات صينية بفضل السحر والجمال اللذين يميزان منظومتها». ويضيف «إن لم نعمل مع بعض خبراء اللغة الصينية، فإن منظومتنا قد تحتوي أخطاء جسيمة.»

إن الحدود التي تميز الفريقين أحدهما من الآخر قد بدأت تفقد وضوحها، لأن الباحثين في مضمار الترجمة الآلية الإحصائية قد

فهم لب الموضوع

إن الترجمة الآلية لن تضاهي أبداً ما يمكن أن يقوم به اللغوي من البشر ويضيف «نقل» «إن استخدام التقنيات الإحصائية، المصحوب بالعمليات السريعة والذاكرة السريعة الكبيرة السعة، يعني أننا سنشهد منظومات للترجمة تستطيع العمل بصورة مقبولة في العديد من الظروف، إلا أن الترجمة السلسلة التي يمكن للإنسان الخبير القيام بها، فهي في نظري أمر لا يمكن للآلة تحقيقه.»

ويعارض «نايت» [الرائد في مضمار الترجمة الإحصائية] هذه النظرة ويشير إلى التقدم الذي تم إحرازه خلال هذا العقد وهو لا يتوقع حدوداً لما يمكن أن تحرره التقنية، التي ستوصل حسب اعتقاده إلى ترجمة من مستوى يضاهي ما يقوم به الإنسان لجميع النصوص. ربما باستثناء النصوص الشعرية وقد عرض «نايت» نماذج غير معلّمة لترجمات قام بها مترجمون من البشر إلى جانب ترجمات الآلة فالتبس على المستمعين التفريق بين هذين النوعين من النصوص ويقول «نايت» «دعونا لا نخدع أنفسنا - هنالك الكثير من الأخطاء في الترجمات التي يقوم بها المترجم البشري. ومستوى هذه الترجمات ليس بالجودة التي قد يتخيلها المرء.» ولكن لكي يبرهن الرواد في حقل الترجمة الإحصائية أن ترويجهم للمجموعة الراهنة من أدوات الترجمة الآلية يتجاوز حملة المبيعات المعتادة، لابد أن يبينوا أن أدواتهم هذه تحقق الآن فكرة «الترجمة الآلية كلياً من نوعية متفوقة»، وعندئذ فقط ستجاوز التقنية، كما يعبر «ريتشاردسون» من شركة مايكروسوفت، مجرد الوعود بتحقيق الترجمة الآلية.»

«العنوان الأصلي: Getting the Gist
(c) rule-based systems أو المنظومات القاعدية

على أية حال، فإن جميع هذه التقنيات تطرح التساؤل حول ما إذا كانت الترجمة الآلية ستتهزم الإنسان في مهنة الترجمة التي استأثر بها حتى الآن مصاحبة ما قام به ديب بلو Deep Blue حاسوب الشركة IBM، الذي صُمم ليلعب الشطرنج. فهل تستطيع الآلة أن

هل يمكن للترجمة الآلية أن تقدم ما يفوق مجرد فكرة تقريبية عن محتوى نصٍ وُضع بلغة أجنبية؟



توفر ما يفوق مجرد فهم لب نصٍ وُضع بلغة أجنبية، أو مجرد تكوين فكرة عامة عن مضمونه؟ يقول «K» هندزل، وهو متحدث باسم رابطة المترجمين الأمريكيين «إن التفاؤل الزاهل لا يعدو كونه استمراراً لعقود من الادعاءات المبالغ بها، والمركزة، مثلاً، على فكرة «ترجمة الآلة كلياً ومتفوقة النوعية»، التي يرمزها الإحصائيون بالأحرف الأولى من العبارة المقابلة باللغة الإنكليزية fully automatic high-quality translation، أو اختصاراً FAHQT. ويضيف «هندزل» قائلاً «إن فهم فكرة النص، الذي يمكن للترجمة الآلية أن تقدمه، يساعد على التعامل مع كميات هائلة من النصوص الأجنبية. مادام المرء قد أدرك أن الناتج غير موثوق، من حيث المضمون» فالترجمة التقريبية محقوقة بالمخاطر. ويورد على سبيل المثال ترجمة من العربية إلى الإنكليزية تذكر «اشتباكا» بين جانبيين، مما استثار اهتمام موظفي الأمن لكن النص كان يشير إلى لعبة لكرة القدم. وليس إلى هجوم إرهابي أو معركة وشيكة. ويلاحظ «K» «نقل» [المدير التنفيذي لمركز جامعة ستانفورد لدراسات اللغة والمعلومات]

بدؤوا بإدخال تقنيات تأخذ بالاعتبار البنية النحوية للجملة. وتتجاوز هذه الأساليب تدخل خبراء اللغة؛ فيمكن لنموذج نحوي أن يقدّر احتمال الحاجة إلى إعادة ترتيب عبارة مؤلفة من اسم وصفة عند ترجمتها من الإنكليزية إلى الفرنسية ويقول «نايت» [من شركة لانكويج ويفر] «إن الاعتماد على عبارات بدلا من كلمات منفردة يسمح للطرق الإحصائية أن تعالج الجوانب النحوية، بحيث تتجنب ترجمة اسمه، على سبيل المثال، عندما يرد ضمن نص ما، به القارس.»

وتضم مؤسسة أبحاث مايكروسوفت مجموعة كبيرة من الإحصائيين في اللغات الطبيعية، عملت خلال الأعوام الست الماضية في مضمار الترجمة الآلية. في البدء، تركز اهتمام هذه المجموعة على المنظومات المستندة إلى القواعد. لكنها تستخدم التقنيات الإحصائية في أعمالها بصورة متزايدة وقد استخدمت مايكروسوفت المقاربات الإحصائية بالدرجة الأولى عندما قامت قبل فترة وجيزة بترجمة مواقع خدمات الزبائن إلى اثنتي عشرة لغة، من ضمنها الروسية والعربية والصينية، ولم يتم تحرير النص بعد الترجمة ويلاحظ «ريتشاردسون» [الباحث الرئيسي في وحدة معالجة اللغة الطبيعية] «لابد من الاعتراف بأن بعض أجزاء النص المترجم مستهجن، لكن هناك أجزاء أخرى جيدة للغاية» ويضيف «إن النص المترجم باستخدام المقاربة الإحصائية يُقارن، بل ربما بدأ يفوق، المستوى الذي وصلت إليه المنظومات القاعدية التي كنا نستخدمها في الماضي.»

مراجع للاستزادة

The History of Machine Translation in a Nutshell. Online at John Hutchins's Web site: <http://ourworld.compuserve.com/homepages/WJHutchins/nutshell.htm>
A Statistical MT Tutorial Workbook. Kevin Knight.
Online at www.isl.edu/natural-language/mt/wkbk.rtf
The Candide System for Machine Translation. Adam L. Berger et al.
Online at <http://acl.ldc.upenn.edu/H/H94/H94-1028.pdf>

Scientific American, March 2006

العلم وراء لعبة سودوكو

لا يتطلب حلُّ إحدى أحجيات لعبة سودوكو الاستعانة بعلم الرياضيات، ولا حتى بعلم الحساب. ومع ذلك، تطرح هذه اللعبة عددا من المسائل الرياضية المثيرة.

(أ. د. ديلاهي)

الفرون الوسطى وفي وقت لاحق، سماها عالم الرياضيات «أ. أولر» (1783-1707) المربعات اللاتينية. وكتب على دراستها تشبه لعبة سودوكو العادية مربعا لاتينيا من المرتبة التاسعة، ولا تختلف عنه إلا بمتطلب إضافي هو أن تحوي كل شبكة جزئية الأعداد من 1 إلى 9 وكان الظهور الأول لهذه اللعبة في عدد الشهر 1979/5 من المجلة *Dell Pencil Puzzles and Word Games* وفي بحث أجراه «W. شورتز» [المشرف على زاوية الكلمات المتقاطعة في مجلة *New York Times*] ذكر أن مبتكر هذه اللعبة هو مهندس معماري متقاعد اسمه «إ. كسارنز». وقد سمات «كسارنز» في انديانابوليس - والروايات مختلفة في تاريخ وفاته، إذ إن بعضها يذكر أنه توفي عام 1989 وبعضها الآخر عام 1981 - وحددت وفاته قبل أن يشهد النجاح العالمي لاكتشافه بمدة طويلة.

وقد انتقلت اللعبة، التي نُشرت في انجلة *Dell* بعنوان «موقع عدد»، إلى مجلة يابانية عام 1984. أطلقت عليها، في النهاية، اسم «سودوكو» *Sudoku*، الذي هو ترجمة غير دقيقة لـ «أعداد مفردة». هذا وقد أدخلت المجلة الاسم «سودوكو» في سجل العلامات التجارية، لكن «حبي التقليد في اليابان أطلقوا عليها اسم «موقع العدد» بعد ذلك، وفي مفارقة أخرى تتصل بسودوكو، سُمي اليابانيون الأحجية باسمها الإنكليزي، وأطلق عليها المتكلمون بالإنكليزية اسمها الياباني.

وتعزو سودوكو الفضل في نجاحها

ملء الشبكة بأي مجموعة من تسعة رموز مختلفة (حروف، أوزان، أيقونات، وهلم جرا) ومع ذلك، تطرح سودوكو على الرياضياتيين وعلماء الحاسوب مجموعة من المسائل التي تتسم بالتحدي.

شجرة العائلة

يبد أن ثمة شيئا صار معروفا، ألا وهو جذور اللعبة فسلالة سودوكو، ليس كما يُظن على نطاق واسع، المربع السحري - وهو مصفوفة تتصف بأن لجميع الأعداد الصحيحة الموجبة في أي سطر وأي عمود، وأي قطر من المصفوفة، المجموع نفسه وفي الحقيقة، فإذا استثنينا الأعداد والشبكة، فلا وجود تقريبا لشيء يربط سودوكو بالمربع السحري - لكن ما هو وثيق الصلة بسودوكو هو المربع اللاتيني [انظر الإطار في الصفحة 24].

والمربع اللاتيني من المرتبة n هو مصفوفة مكونة من n خلية (n خلية في كل جانب) مملوءة برمز عددها n ، بحيث لا يظهر الرمز نفسه مرتين في السطر نفسه أو في العمود نفسه (وهكذا يستعمل كل واحد من هذه الرموز n مرة بالضبط) ويعود أصل هذه الشبكات إلى

قد يتوقع المرء أن لعبة تتطلب استعمال المنطق، لا تستهوي سوى عدد قليل من الناس - ربما كانوا رياضياتيين أو من هواة الحواسيب أو من المقامرين المحترفين. بيد أن لعبة سودوكو *Sudoku* اكتسبت خلال مدة قصيرة جدا شعبية استثنائية، منكرة بالهوس الذي أثاره كعب روبل *Rubik's cube* في مطلع الثمانينات من القرن الماضي.

وخلافا لكعب روبل، الثلاثي الأبعاد، فإن أحجية سودوكو شبكة مستوية مربعة الشكل تحوي، نموذجيا، 81 خلية (تسعة أسطر وتسعة أعمدة)، ثم إنها مقسمة إلى تسعة مربعات جزئية، يتضمن كل منها تسع خلايا. سنسميها شبكات جزئية *subgrids* وتتمدد اللعبة بأعداد مطبوعة في بعض الخلايا، وعلى اللاعب ملء الخلايا الفارغة الأخرى بأعداد من 1 إلى 9، بحيث لا يظهر رقم مرتين في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية. ولكل أحجية حلٌ وحيد.

ومع أن لعبة سودوكو لعبة أعداد، من المثير للعجب أنه لا يحتاج من يحاول حلها إلى أي قدر من الرياضيات. وفي الحقيقة، لا تساعد أي من العمليات الحسابية - من ضمنها الجمع أو الضرب - على إتمام شبكة ما، إذ إن كل ما هو مطلوب، نظريا،

نظرة إجمالية/ الجانِب العلمي في لعبة سودوكو

- سودوكو هي أكثر من مجرد لعبة منطق مسلية، فهي، إضافة إلى ذلك، تطرح على الرياضياتيين مجموعة واسعة من المسائل العميقة.
- تتضمن هذه المسائل ما يلي: كم شبكة سودوكو يمكن تكوينها؟ ما هو أصغر قدر من أعداد البدء التي تسمح بحل وحيد؟ هل تنتمي سودوكو إلى صنف المسائل الصعبة الذي يطلق عليها اسم المسائل القائمة NP.
- توصل خبراء الأحجيات إلى مجموعة من الأساليب تساعد على حل أحجيات سودوكو وإلى أشكال مختلفة مسلية من هذه اللعبة.

THE SCIENCE BEHIND SUDOKU
Family Tree
Overview: Scientific Sudoku
Latin Square
Order of
Number Placement
Single Numbers

أسلاف اللعبة سودوكو^(١)



ليونارد أولر^(٢)

خطة

1	2	3	4
2	3	4	1
3	4	1	2
4	1	2	3

مربع لاتيني صغير
($n=4$)

شبكة حزنية

5	8	6	4	2	1	3	7	9
3	2	7	9	6	5	4	8	1
9	1	4	3	7	8	6	2	5
1	6	3	5	8	4	7	9	2
2	4	5	1	9	7	8	6	3
8	7	9	6	3	2	5	1	4
7	5	8	2	1	3	9	4	6
6	3	1	7	4	9	2	5	8
4	9	2	8	5	6	1	3	7

مربع لاتيني يمثل أيضا شبكة سودوكو مكتملة ($n=9$)

شبكة سودوكو هي نوع خاص من المربع اللاتيني. المربعات اللاتينية - التي أطلق عليها اسمها ج. أولر - [أحد كبار علماء رياضيات القرن الثامن عشر] - هي مصفوفات $n \times n$ مملوءة بـ n عددا مختلفا بحيث لا يظهر العدد نفسه مرتين في السطر نفسه أو العمود نفسه والمربعان المعروضان هما مثالان على ذلك وشبكة سودوكو الكلمة المألوفة [التي تسمى أيضا شبكة حل] هي مربع لاتيني 9×9 يحقق شرطا إضافيا. هو أن يصوي كل من شبكاته الجزئية التسع الأرقام من 1 إلى 9

16 عددا ولها جلال اثنان. ولم يعثر الباحثون حتى الآن على أمثلة إضافية تُرى. هل ثمة أحد قريب من البرهان على عدم وجود أحجية سودوكو صحيحة شبكة بدنها تحوي 16 عددا فقط؟ يجيب «ماك كوير» عن هذا السؤال بقوله «لا» وهو يلاحظ أنه لو تمكنا من تحليل شبكة واحدة كل ثانية بحثا عن أحجية صحيحة شبكة بدنها تحوي 16 عددا - فيمقدورنا إنجاز هذا العمل في 173 سنة. ولسمو الحظ، فما نزال غير قادرين على هذا العمل، حتى لو استعنا بحاسوب سريع «ويضيف «قريباً، ربما يكون بالإمكان البحث في شبكة واحدة خلال دقيقة واحدة بالاستعانة بحاسوب قوي، لكن إجراء المحاولة بهذه السرعة يستغرق 10 380 سنة؛ ثم يقول -حتى لو وزعنا العمل على 10 000 حاسوب، لتطلب إنجازها نحو سنة لذا نحن بحاجة إلى تقدم هائل بحيث نجعل البحث في جميع هذه الشبكات شيئا مقبولا فما نحتاج إليه أما تصغير فضاء البحث، وأما إيجاد خوارزمية للبحث أفضل بكثير» أن الرياضياتيين يعرفون فعلا حل عكس مسألة تحديد التعداد الأصغري لأعداد شبكة البدء، أي الإجابة عن السؤال ما هو أكبر تعداد لأعداد شبكة البدء - لا بضمن حلا وحيدا الجواب هو 77 فبتعدادات مثل 80، 79 أو 78 لمجموعات شبكات البدء - إذا وجد حل، كان هذا الحل وحيدا لكن هذا لا يمكن ناكيدته عندما يكون تعداد الأعداد المفروضة 77 [انظر الإطار في أسفل الصفحة 28]

Sudoku's Predecessors
group theory (١)

(٢) أي إذا أحصينا عدد صفوف تكافؤ مجموعة الشبكات (التحرير)

الأرض. وعلى الرغم من هذا الانخفاض، فحازال العدد كبيرا، وعلى المتحمسين لسودوكو ألا يحسوا أي نقص في الأحجيات لاحظ أنه يمكن التوصل إلى حل كامل لسودوكو بأكثر من طريقة أي كانت شبكة البدء (أي الشبكة غير الكاملة التي لها حل كامل مفروض) ولم يفلح أحد حتى الآن في تحديد عدد شبكات البدء المختلفة بضاف إلى ذلك أن شبكة البدء في سودوكو لا تثير حفا اهتماما رياضياتيا إلا إذا كانت أصغرية minimal - أي إذا كان حذف عدد واحد يعني أن الحل لم يعد وحيدا هذا ولم يستطع أحد حتى الآن، تعيين عدد الشبكات الأصغرية الممكنة، الذي قد يرضى إلى العدد الإجمالي لأحجيات سودوكو المختلفة ويمثل تعيين هذا العدد تحديا من المؤكد النصدي له في المستقبل القريب

ثمة مسألة أخرى تتعلق بالأصغرية minimality لم تحل أيضا بعد، ألا وهي ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن لمصمم أحجية وضعها في شبكة بدء، ويضمن مع ذلك، حلا وحيدا لها؟ يبدو أن الجواب هو 17 فقد جمع «ن. رويل» [من جامعة ويسترن - أستراليا] أكثر من 38 000 مثال يحقق هذا الشرط، بحيث لا يمكن الانتقال من واحد منها إلى آخر بإجراء العمليات الأولية

وحاليا، يجري «ن. ماك كوير» [من جامعة إيرلندا الوطنية في ماي ثوب] بحثا عن أحجية شبكة بدنها تحوي 16 عددا ولها حل وحيد - لكن حتى الآن لم يوفق في مساعيه ومن ناحية أخرى، تمكن رويل وأخرون، يعمل كل منهم بمعزل عن الآخر، من إيجاد أحجية واحدة شبكة بدنها تحوي

5,524,751,496,156,842,531,225,600 مربع لاتيني من المرتبة 9 إلا أن نظرية الرمر تنص على أن الشبكة التي يمكن اشتقاقها من أخرى هي مكافئة للشبكة الأصلية فعلى سبيل المثال، إذا قمت منهجيا بالاستعاضة عن كل عدد بعدد آخر (مثلا 1 أصبح 2 و2 أصبح 7 وهكذا)، أو إذا يادلت بين سطرين أو عمودين، فإن النتائج النهائية ستكون بالضرورة نفسها لذا فإدأ أحصينا الصيغ المختزلة فقط، أصبح عدد المربعات اللاتينية من المرتبة التاسعة مساويا 377,597,570,964,258,816 وهذه نتيجة وردت عام 1975 في كتاب Discrete Mathematics، الذي ألفه «s. بامل» و«د. روثستين» [الذنان كانا حينذاك في جامعة أوهايو الحكومية]

أما تحديد عدد شبكات سودوكو الممكن تشكيلها، فمسألة يصعب جدا حلها وفي هذه الأيام، فإن الاختصار على استعمال المنطق (لتبسيط المسألة) والحواسيب (لتفحص الإمكانيات بطريقة منهجية)، يسمح بتقدير عدد شبكات حل سودوكو الصحيحة وهو 6,670,903,752,021,072,936,960 ويتضمن هذا العدد جميع تلك الشبكات التي اشتقت من أي شبكة خاصة باستعمال العمليات الابتدائية هذا وإن صحة هذه النتيجة - التي توصل إليها «ا. فلكنهاور» [من جامعة درسدن التقنية بألمانيا] و«د. جارغيس» [من جامعة شغيلد بالبنكرا] جرى تحققها عدة مرات (التحقق مهم في الحالات التي يجري الحصول فيها على النتائج بهذه الطريقة)

وإذا أحصينا مرة واحدة فقط تلك الشبكات التي يمكن اختزالها إلى تشكيلات متكافئة تقلص عددها إلى 5,472,730,538 وهذا عدد أصغر قليلا من عدد سكان

مسألة أخرى: ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن وضعها في شبكة بدء بحيث يكون الحل وحيدا؟

ويجب 2 أو 3 إذا واجه 2 تعارضا، وهكذا. وبعد وضع أول عدد ممكن (لا يواجه تعارضا). ينتقل البرنامج إلى الخلية التالية، ويبدأ ثانية بالعدد 1

وإذا كان العدد الذي يتعين تغييره (وهو عدد لا يمكن أن يضاف إليه 1 في شبكات سودوكو المألوفة 9x9). فإن البرنامج يقوم بالنهج المعاكس ويزيد العدد الموجود في الخلية السابقة (التي تلي آخر عدد جرى وضعه) واحداً بعد ذلك يتقدم البرنامج إلى الأمام إلى أن يواجه تعارضا (أحيانا، يتبع البرنامج نهجا معاكسا عدة مرات قبل التقدم إلى الأمام). وفي برنامج مكتوب جيدا، يستكشف هذا الأسلوب جميع الفرضيات الممكنة. وينتهي بالعثور على الحل، إن وجد حل فعلا وإذا كانت هناك عدة حلول، كما يحدث في أحجية مغلوبة، فإن البرنامج يجدها جميعا

وبالطبع، فإن التحسينات ممكنة، وهي تُسرّع اكتشاف الحل الوحيد ويسمى أحد التحسينات المفضلة، «التوليد المفيد»، الذي يعني أنه بعد وضع كل عدد جديد، يؤلّد البرنامج قائمة بالأعداد الممكنة المتبقية في كل خلية فارغة، ولا يتعامل إلا مع الأعداد الواردة في القائمة

يمكن توكيد encode تقنيات النهج المعاكس ببرنامج حلول قصيرة إلى حد ما وفي الحقيقة، كتبت برامج مختصرة للعبة سودوكو في Prolog، وهي لغة حاسوبية تستعمل خوارزمية نهج معاكس. وقد ابتكرت هذه اللغة في أواخر السبعينات بجامعة مارسيليا في فرنسا

وفيها يتعلق بالاعبي سودوكو. فإن تقنيات النهج المعاكس، التي تطبقها البرامج الحاسوبية، غير عملية لأنها تستلزم صبرا استثنائيا لذا يستعمل الناس قواعد أكثر تنوعا وبراعة، وهي أقرب ما تكون إلى أسلوب المحاولة والخطأ كسلأخ أخير وتحاول بعض البرامج تقليد الطرائق التي يسلكها الناس إلى حد ما، فمع أنها أطول

طريقة عليها حال اكتشاف خطأ هذه الحلول وطريقة عمل الخوارزمية الأساسية للنهج المعاكس هي كما يلي: يضع البرنامج العدد 1 في أول خلية فارغة، فإذا كان هذا الحيار منسجما مع الأعداد الموجودة في الشبكة، انتقل إلى الخلية الفارغة الثانية التي يضع فيها العدد 1 وعندما يواجه تعارضا conflict (وهو ما يمكن حدوثه بسرعة كبيرة)، يمحو العدد 1 الذي وضعه أخيرا،

إضافة إلى الاسئلة المتعلقة بالعدد، يفكر علماء الرياضيات والحواسيب مليا فيما تُقدّر ولا تُقدّر، على فعلة الحواسيب عندما يتعلق الأمر بحل أحجيات سودوكو أو توليدها. وفي أحجيات سودوكو المألوفة (9x9)، من السهل نسبيا كتابة برامج حاسوبية لحل جميع شبكات البدء الصحيحة

يمكن للبرامج الحاسوبية استعمال عدة أساليب، لكن أكثرها انتشارا هو النهج المعاكس backtracking، وهو صيغة منهجية لطريقة المحاولة والخطأ، تسمح باقتراح حلول جزئية. ثم القيام بإجراء، تعديلات

ما هو مقدار التخفيض الذي يمكنك تحقيقه؟

يبدو أن أصغر عدد من الرموز التي يمكن لأحجية سودوكو 9x9 البدء بها، والتي توفر شبكة حل وحيدة، هو 17 ونبين أدناه مثالا على ذلك. وإحدى الشبكات الخاصة الملوقة، التي يتعتها هواة سودوكو بأنها مألوفة بصورة مستغربة (SF)، تخفي 29 رقعة غير متكافئة، على كل منها 17 رمزا (عددا) ابتدائيا - وهذا عدد كبير غير عادي. وقد اعتبرت الشبكات SF في وقت سابق أنها أكثر الشبكات احتمالا لتصميم أحجية ذات 16 رمزا ابتدائيا. ولها حل وحيد، لكن بحثا مستفيضا عنها خُيّب هذا الأمل. ونبين أدناه أحجية سودوكو الوحيدة التي تنطلق من 16 رمزا (عددا)، والتي لها حلان فقط. ونرى في الشبكات الجزئية النهائية تبادلا بين الأعداد 8 والأعداد 9

أحجية عدد رموزها الابتدائية 17

1		9
	3	8
		6
	1 2 4	
7 3		
5		
8	6	
	4	2
	7	5

شبكة مألوفة بصورة مستغربة

6 3 9	2 4 1	7 8 5
2 8 4	7 6 5	1 9 3
5 1 7	9 8 3	6 2 4
1 2 3	8 5 7	9 4 6
7 9 6	4 3 2	8 5 1
4 5 8	6 1 9	2 3 7
3 4 2	1 7 8	5 6 9
8 6 1	5 9 4	3 7 2
9 7 5	3 2 6	4 1 8

أحجية عدد رموزها الابتدائية 16

5 2		4
	7 1	3
		4 6
7	2	
1		
6	2	
	3	1
4		

ولها حلان

5 6 2	3 8 9	4 7 1
8 9 4	7 1 6	2 5 3
1 3 7	4 2 5	9 8 6
3 5 9	1 8 4	6 2 7
9 7 4	2 6 3	1 8 5
2 1 6	8 5 7	3 4 9
6 9 1	5 4 2	7 3 8
7 2 5	6 3 8	9 1 4
4 8 3	9 7 1	5 6 2

نورد هنا بضع طرائق لحصول حل إحدى أحجيات سودوكو. الطريقتان 1 و 2 هما أبسط الطرق وتستعملان عادة توافيقا (إحداهما بعد الأخرى). ولكن، لسوء الحظ، هاتين الطريقتين لا تساعدان دائما البلاء. على قطع مسافة طويلة من الحل، لذا فهو يستعمل الطريقة 3. وإذا تبين أن ذلك غير كاف، فمن الممكن استعمال الطريقة 4 التي تنجح كل مرة. من دون أن يكون تطبيقها سهلا بالضرورة. ويمكنك، أيضا، انتهاز أساليب من ابتكارك. وتجريب الطرائق الكثيرة المعروضة على الويب.

a

5	1			9	6
			9		
			5	2	7
4	9	1		7	
			7		
1	3			2	
3	4		5	9	
	2	8	7	1	4
7	6	5	8	2	

الخلايا
الوحيدة
[الزرقاء]

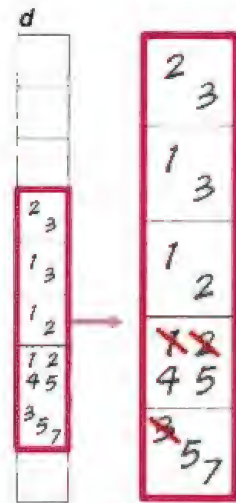
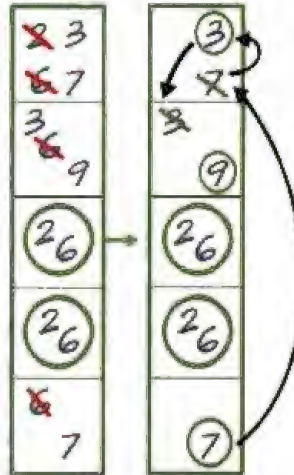
الخلايا
الفسرية
[البرتقالية]

b

5	1			9	6
			9	5	
			7	5	2
4	9	1		7	
	5		7		
1	3	7			2
3	1	4	6	5	9
9	2	8		7	1
7	6	5	8	2	

c

5	7	1	2	3	4	2	3	9	6
2	6	4	7	2	3	4	9	1	3
6	8	4	3	6	9	4	6	5	2
4	9	2	6	1	3	6	2	3	5
2	6	5	2	2	3	4	6	7	1
1	3	6	7	4	5	4	6	8	9
3	1	4	6	5	9	1	6	1	2
9	2	8	3	6	7	1	3	5	4
7	6	5	8	2	3	4	1	3	9



T، ياتو، و «Y سبتا» [من جامعة طوكيو] أن أحجية سودوكو تنتمي إلى طائفة المسائل التامة NP، وهي من المسائل التي يُحتمل أن يستحيل حلها في إطار زمني واقعي. ومن الأمثلة المشهورة عليها مسألة الألوان الثلاثة التي تدرس ما إذا كان بالإمكان تظليل كل عقدة node في بيان بثلاثة ألوان، بحيث لا يكون لأي عقدتين مشتركتين بحافة واحدة اللون نفسه. وفي حالة سودوكو، من الواضح أن التحدي المستحيل هو تصميم برنامج فعال يسمح بحل أحجية سودوكو من جميع الأحجام - أي عندما تكون الشبكة من الحجم $n \times n$ من دون أن تكون مقصورة على

Solution Methods
discrete/1

graph، وهو بنية بيانات لها عدد من العقد nodes وعدد من الحافات edges تربط أزواجا من هذه العقد.
(2) NP-complete problems، أبطر، «مجموع البحوث عن سبب» (العلوم)، العددان 4/3: 12006، ص 11

مسألة التلوين هي في واقع الأمر معقدة جدا لأن لكل شبكة 9×9 مئات من الحافات edges. فكل خلية هي جزء من سطر يحتوي ثمانى خلايا أخرى. ومن غموض يضم ثمانى خلايا أيضا. ومن شبكة جزئية تضم ثمانى خلايا (أربعة منها سبق حسابها في سطر الخلية وعمودها) لذا فإن كل خلية من الخلايا الإحدى والثمانين ترتبط بعشرين $(4+8+8)$ خلية أخرى، وهذا يكون مجموعا ضخما من الخلايا قدره 1620 (أي 20 مضروبا في 81) خلية تشترك بحافة مع أحد جيرانها - وهذا يعني، بدوره، أن العدد الإجمالي للحافات هو 810 (أي 1620 مقسوما على 2).

وإمكان تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين، له دلالة عند العلماء. لأن هذه السمة تربط هذه الأحجيات بتنوع من المسائل المهمة ولا سيما فقد أثبت حديثا،

من البرامج الأخرى، لكنها تعمل بنفس مستوى جودتها. هذا وإن البرامج التي تحاكي التفكير البشري مفيدة أيضا لتقييم تعقيد شبكات البدء، التي تتدرج صعوبتها من شبكات «سهلة» (لا تتطلب سوى تكتيكات بسيطة)، إلى ما يطلق عليها كثير من الناس اسم الشبكات «الشيطانية» (بسبب حاجتها إلى تطبيق قواعد منطقية تُجهد أذهان مستعلينا).

إحدى الطرق التي يفكر في اتباعها علماء الحاسوب لحل أحجية سودوكو هي النظر إليها كنمسألة تلوين بيان graph-coloring problem، حيث لا يمكن أن يكون فيها لخطين متجاورتين (تسميان أحيانا «رأسين مشتركين بحافة») اللون نفسه، والتي يكون فيها عدد الألوان المتاحة تسعة ويحتوي الرسم، في هذه الحالة، على 81 رأسا vertex، بعضها ملون بداية إن

الطريقة 1

الخلية «القسرية»

مرجع هذا الأسلوب طريقة مل-خلية (بعدد) يستبعدك الأعداد الموجودة في سطر الخلية نفسها وخطيتها الجزئية. فترى ما إذا تبقى فضل واحد فقط. وبين مثل هذا التحليل للشبكة a في السانتيق الحادية اعدادا برتقالية اللون في الشبكة b هي خلايا «قسرية»

الطريقة 2

الخلية «الوحيدة»

هنا يكون تركيزنا على قيمة مفروضة ولتكن، مثلاً، العدد 5. العمودان واحد وثلاثة في الشبكة a يحويان خمسيتين، لكن العمود الثاني لا يحوي 5 حتى الآن. ترى، أين يجب أن تكون الخمسة في ذلك العمود؟ لن توجد في الخلايا الثلاثة الأولى من العمود الثاني، لأنها موجودة في شبكة جزئية تحوي 5. ولن توجد في الخلية السابعة من هذا العمود، لأن شبكتها الجزئية تحوي 5 أيضاً. لذا فإن العدد 5 في العمود الثاني يجب أن يوجد إما في الخلية الرابعة أو الخامسة أو السادسة منه. ولما كانت الخلية الخامسة فقط هي الفارغة فيه، فإن هذا العدد يجب أن يوضع فيها. وهكذا فإن الخلايا المعلقة بالأعداد الزرقاء في الشبكة b هي الخلايا «الوحيدة»

الطريقة 3

تبسيط مدى الإمكانيات

طريقة فعالة جداً، لكنها تتطلب قلماً وممحاة: في كل خلية، اكتب جميع الحلول الممكنة بخط صغير جداً، أو بشكل تقاطعاً تمثل مواقعها الأعداد من 1 إلى 9. طبق بعد ذلك المنطق لمحاولة حذف الخيارات. مثلاً، نئين الشبكة c كيف يبدو الشبكة e إذا علمت من دون تفكير، من دون أن تطبق أولاً الطريقتان 1 و 2. في العمود الثالث، يكون ترتيب إمكانيات الخلايا الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة هو على التوالي: (7,6,3,2)، (2,6)، (2,6)، (7,6). ويجب أن يحوي هذا العمود العدد 2 والعدد 6، لذا يجب أن يكون هذان العددان موجودين في الخليتين اللتين إمكانيتهما فقط العددان 2 و 6 الموجودان في الترتيب الأول (7,6,3,2). لذا فإن 2 و 6 لا يمكن أن يوجد في أي مكان آخر في هذا العمود ويمكن استبعادهما من خلايا العمود الثامن (الحمراء). وهكذا تبسط مدى الإمكانيات لهذا العمود لتصبح (7,3)، (8,3)، (6,2)، (6,2)، (7). لكن هذا ليس كل شيء. فتحدد موقع 7 بملي بدوره موقع 3 وموقع 9 [الترتيب الثاني (9,3)] والإمكانيات الأخيرة هي: (8,3)، (6,2)، (6,2)، (7). ويبقى ترتيب واحد في معرفة أين يجب أن يكون موقعا 2 و 6 والقاعدة العامة لتبسيط الإمكانيات هي التالية: إذا وجدت، ضمن مجموعة من الإمكانيات [لسطر أو عمود، خلية جزئية]، m خلية تحتوي على مجموعة جزئية مؤلفة من m عدداً فقط [لكن ليس من الضروري وجودها جميعاً في كل خلية]، فإن الأرقام الموجودة في المجموعة الجزئية يمكن استبعادها، بوصفها إمكانيات، من الخلايا الأخرى في المجموعة التي هي أكبر منها. وعلى سبيل المثال، يمكن في d تبسيط الترتيب (3,2)، (3,1)، (5,4,2) ليصبح (3,2)، (3,1)، (2,1)، (5,4)، (7,5) لأن الخلايا (3,2)، (3,1)، (2,1) تنتج جميعها من المجموعة الجزئية (3,2,1) وليس فيها أعداد أخرى

الطريقة 4

طريقة المحاولة والخطأ

بتطبيق الطرائق 1، 2، 3 يمكن حل كثير من شبكات سودوكو لكن شبكات سودوكو من المستوى الشيطاني، تتطلب غالباً جولة من المحاولة والخطأ. ونحن نستخدم الارتياح، فإنك تقوم باختيار عشوائي، وتطبق استراتيجياتك كما لو كانت في القرار الصحيح. فإذا اصطدمت باستحالة إكمال، تصل إلى عددتين متطابقين في عمود واحد، كان اختيارك غير سليم فمثلاً، قد تجرب 2 في الخلية الرابعة من العمود الثالث في الشبكة c. فإذا لم يتجح، بدأت ثانية من نقطة البدء نفسها، لكن بتجربة العدد 6 في تلك الخلية. ولأسوء الحظ، يتعين عليك أحياناً القيام بعدة جولات من المحاولة والخطأ، وعليك أن تكون مستعداً لتطبيق النهج المعاكس إذا كان تخمينك غير صحيح. وفي الحقيقة، فإن الفكرة الكامنة في طريقة المحاولة والخطأ، هي الفكرة نفسها التي تستعملها خوارزميات النهج المعاكس، التي يمكن للحواسيب تطبيقها بسهولة، لكنها تسبب إرهاقاً لأدمغة الناس. ومن المثير للعب أن تكون الطرائق، التي أثبتت أنها أكثر الطرائق فعالية لألة، هي الأقل فعالية للكائنات البشرية.

الحجم المألوف (9x9) $3^8 \times 3^4$. ومن المرجح أن لن ينجح أي برنامج لحل هذه الأحجيات نجاحاً حقيقياً، لأن الزمن اللازم لإيجاد الحل يتزايد تزايداً درامياً مع تزايد n وإذا كان لديك خوارزمية تحل أحجيات سودوكو المعهودة، فيمكنك استعمالها للحصول على خوارزمية لتصميم تلك الأحجيات المتعلقة بسودوكو من جميع الحجم وفي الحقيقة، فمع أن الأحجيات كانت تُصمم في بدايات عهدها يدوياً، فإن جميعها تقريباً يُنفذ في هذه الأيام ببرامج حاسوبية استناداً إلى الطريقة التالية أو إلى ما يشبهها توضع الأعداد عشوائياً على رقعة الشبكة وتُطبق خوارزمية حل (النهج

المعاكس، مثلاً) فإذا كان للأحجية حل وحيد، توقف البرنامج. وإذا لم يكن للمسألة المكتملة جزئياً حل، حذف عدد واحد من التشكيل الابتدائي، واستهل البرنامج ثانية وإذا كان للأحجية حلول مختلفة، اختبر أحدها، وعندئذ تصيف الخوارزمية القدرة اللازم من الأعداد إلى أعداد البدء للتوقع من وحدانية الحل المختار

استراتيجيات بشرية

يمكن للهواة الذين يستمتعون بحل أحجيات سودوكو يدوياً أن يختاروا من بين الكثير من التكتيكات، بيد أن ثمة أسلوبين

أساسيين يوفران نقطة بدء مقبولة. أولهما البحث عن أكثر الخلايا الفارغة تقييداً. وهي تلك التي تنتمي إلى سطر مملوء، جيداً أو عمود مملوء، جيداً أو شبكة جزئية مملوءة جيداً. وأحياناً، يقودك حذف استحقاقات (الأعداد التي تملأ الخلايا في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية) إلى اكتشاف العدد الوحيد الملائم لخلية معينة. وعلى أي حال، يجب أن يساهم هذا الأسلوب في تضيق شديد للخيارات

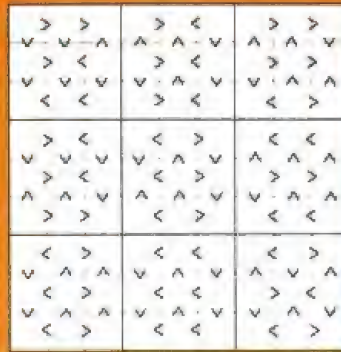
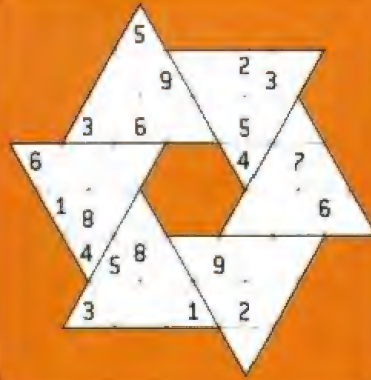
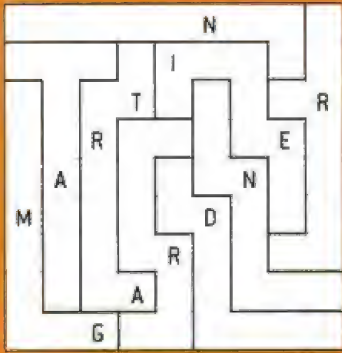
الأسلوب الثاني هو البحث عن المكان الملائم لقيمة مفروضة في عمود معين أو سطر معين أو شبكة جزئية معينة (مثلاً، أبحث عن الأمكنة الوحيدة التي قد تكون ملائمة للعدد 3 في السطر الرابع) وأحياناً، يكون لهذا البحث إجابة وحيدة ممكنة وفي أحيان أخرى، فإن مجرد معرفة

يمكن تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين تربط هذه اللعبة بنوع من المسائل الرياضياتية المهمة.

تغيرات في أحد المواضيع^(١٩)

هل نمة حاجة إلى شيء أكثر من شبكات شيطانية، في الأحجيات الواردة هنا يمكن تطبيق القواعد العادية، مع بعض التغييرات. ففي ه تحل حروف الكلمتين GRAND TIME محل الأعداد، ويستعاض عن الشبكات الجزئية المربعة بأشكال هندسية أخرى. مبتكر هذه الشبكة بسميها أحجية Du-Sum-Oh.

وفي ه، التي تحتوي ست شبكات جزئية مثلثة الشكل، من الممكن تقاطع الأسطر والأعمدة المائلة في مركز الشكل. ثم إنه عندما يكون لسطر أو عمود ثماني خلافا فقط، تقوم الخلية القريبة، التي تشكل رأسا للنجمة، مقام الخلية التاسعة. وفي ج يكون للأعداد الثلاثة في الأسطر المعلقة (بإشارتي +، -) في الشبكتين الجزئيتين مجموع يساوي العدد الموجود في الشبكة الجزئية الثالثة. وفي د، تدل إشارتا <، > أكبر من، و أصغر من، على المواقع التي تنتمي إليها الأرقام. وفي ه، يجب وضع أحجار النومينو الموجودة في الأسفل في الإمثلة الفارغة. وفي ا، تتراكب ثلاث رقع للعب بعضها على بعض، وللاطلاع على الحلول ومزيد من اللعب، قم بزيارة الموقع www.sclam.com



وثمة عدد من البرامج الحاسوبية، التي يمكن العثور عليها بسهولة على الإنترنت، تولد رقعا ذات درجة محددة من الصعوبة، وتساعدك على إيجاد الحلول (ولكن، بالطبع، من دون أن تحل الأحجية التي تسعى لحلها). فمثلا، يسمح لك بعضها بوضع علامات مؤقتة في الخلايا ومحوها، وهذا يجعل القلم والمحاة غير ضروريين حتى أن بعضها الآخر يمكنك من إيجاد روابط بين الخلايا فلا تُغفل هذه البرامج الحاسوبية، إذ باعفائها لك من بعض الممارسات انمطة، مثل المحو. فهي تحثك على مزيد من التفكير العميق والبراعة الفنية الفائقة في لعبة المنطق هذه.

و حال شعورك بالضجر والملل من أحجيات لعبة سودوكو المعهودة، يمكنك

Variations on a Theme (1)
Too Few Clues (100)

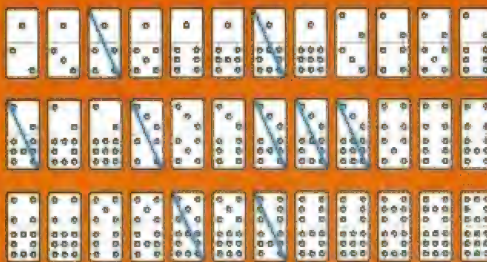
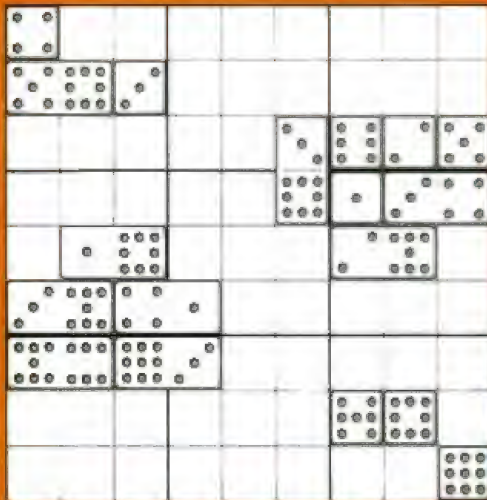
في «مراجع للاستزادة» للعثور على عدد من الاستراتيجيات لبعضها أسماء، مثيرة مثل swordfish (سمك سيف البحر) و golden chain (السلسلة الذهبية).

أن العدد 3 ليس ملائما إلا لموقعين معيّنين أو ثلاثة مواقع، هي معرفة مفيدة. ولمزيد من التفصيلات، انظر الإطار في الصفحتين 26 و 27. أيضا، قم بزيارة المواقع على الويب المدرجة

رموز قليلة جدا^(٢٠)

1 2 3	3	4	5	6	7	8	9
4 5 6	4	5	6	7	8	9	1 2 3
7 8 9	7	8	9	1	2	3	4 5 6
2 1 3	4	3	9	8	5	6	7
	8	6	5	2	7	1	3 9 4
	9	3	7	6	4	5	8 1 2
	3	4	1	8	6	2	9 7 5
	5	7	2	9	1	4	6 3 8
	6	9	8	5	3	7	2 4 1

إن 77 رمزا لن تكفي بالضرورة لإيجاد حل وحيد. فمع وجود أربع فقط من الخلايا الفارغة فإن لهذه الشبكة حلين. هذا وإن العددين 1 و 2 غير الموجودين في أول عمودين من الشبكة قابلان للمبادلة.



المؤلف

Jean - Paul Delahaye

أستاذ علوم الحاسوب في جامعة ليل للعلوم والتقانة بفرنسا، وباحث في مختبر ليل لعلوم الحاسوب (LJFT) التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية (CNRS). تتركز أبحاثه على نظرية الألعاب الحاسوبية (مثل معضلة السجين المكررة)، نظرية التعقد (مثل التعقد الكونفورمي)، وتطبيقات هاتين النظريتين في التحليل الحيني، وحديثاً في علم الاقتصاد. وهذه المقالة هي تفصيل لمقالة نشرها ديلاهاي في عدد الشهر 2005/12 من مجلة Pour la Science، وهي الترجمة الفرنسية لمجلة ساينتيفيك (أمريكان).

مراجع للاستزادة

1st World Sudoku Championship: www.wsc2006.com/eng/index.php
Math Games, Ed Pegg, Jr.: www.maa.org/editorial/mathgames/mathgames_09_05_05.html
The Mathematics of Su Doku. Sourendu Gupta: <http://theory.tifr.res.in/~sgupta/sudoku/>
Mathematics of Sudoku, Tom Davis: www.geometer.org/mathcircles
SadMan Software Sudoku techniques: www.simes.clara.co.uk/programs/sudoku/techniques.htm
Sudoku, an overview: www.sudoku.com/howtosolve.htm
Sudoku, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sudoku>
A Variety of Sudoku Variants: www.sudoku.com/forums/viewtopic.php?t=995

Scientific American, June 2006

الانتقال إلى البحث عن أنماط مطوّرة لهذه اللعبة لا تعدّ ولا تحصى. بعضها يحوي عدة شبكات متراكبة، وبعضها الآخر يستعير عن الشبكات الجزئية، التي هي مربعة، بأخرى لها أشكال مغايرة: ومنها ما يفرض تقييدات إضافية وتستحظى هذه البدائل بإعجابك. ذلك أنها تجبرك على استكشاف استراتيجيات منطقية جديدة يُضاف إلى ذلك أن المتحمسين، الذين لا يُمضون أكثر من ربع ساعة في حلّ أحجية معهودة، يقضون سحابة يومهم كلّها في الاستمتاع بجمع الخلايا والأعداد لإنشاء نماذج ضخمة من أحجيات سودوكو. والآن يكفي ما قيل، ولننتقل إلى الشبكة التالية:

Iterated prisoner's dilemma (١)
complexity theory (٢)
Kolmogorov complexity (٣)

التغلب على مرض قاتل مفاجئ: أمهات الدم

حينما شارفت سيدة شابة على الموت بسبب تمزق
أم دم aneurysm لديها، بدأ الكاتب وزوج السيدة يبحثان
عن طرق لإنقاذ مرضى أمهات الدم الآخرين من فاجعة قد تصيبهم.

«A. الغزيادس»

ضعيفة جدا عقب العملية الجراحية، ولكنها
تمسكت بالحياة وتحسنت باطراد
لقد تحدثت مع زوج كارميلا «د. بيزو»
عن حالتها في جولتي الساندية التي كنت
أجريها كل ليلة. وحينما تحسن وضعها،
وجدنا أن حوارنا يتحول نحو موضوعات
علمية أكثر، وعلى وجه الخصوص المسائل
المتعلقة بأمراض الشريان الأبهر
وتبين أن «ريزو» كان اقتصاديا يعمل في
قسم الوبائيات epidemiology في مدرسة
الصحة العامة، وكان خبيراً في تحليل
البيانات والإدارة. وقد أظهر اهتماماً بالغاً
بعمل فريقي. وفي السنوات العشر الماضية -
أي منذ بداية زيارتي «كارميلا» إلى
المستشفى - ساعدنا «ريزو» على تشكيل
قاعدة بيانات تصوي سجلات مرضانا
جميعهم المصابين بأمهات الدم الأبهرية
الصدرية. ونتيجة لذلك، قمنا وزملائي
بحوسبة معلومات تحصى أكثر من 3000
مريض مضاب بهذه الحالة، بما في ذلك نحو
9000 صورة و 9000 مريض - سنة من
متابعة المرضى (حينما يجمع حاصل عملنا
مع هؤلاء المرضى جميعاً) ونحن لا نعلم
بوجود قاعدة بيانات أضخم من هذه حول
هذا الاضطراب

وقد سمح لنا هذا المصدر السريري
الشامل بمعرفة أوسع عن سلوك أمهات الدم

SEATING A SODDEN KILLER ...

١٩١ يعتقد أن هذا الخلل وراثي ويظهر على شكل
تعبيرات مهيكلية أو مرض خلقي في القلب (التحرير)

«كارميلا» لم يكن قد توسع إلا قليلاً، فإن
«كوهن» لم ينصح باللجوء إلى الجراحة
ومع ذلك، «في صباح ذاك السبت
حضرت «كارميلا» إلى قسم الطوارئ
تشكو ألماً شديداً في الصدر وظهر
التصوير الطبقي المحوسب (CT) ومخطط
صدى القلب تسليخاً dissection أبهرياً. لقد
تسرب الدم عبر ثقب في الجزء الداخلي
من جدار الشريان مسبباً انقصال نصفه
الداخلي عن نصفه الخارجي، وعلى امتداد
الطول الكامل للوعاء الدموي وقد يؤدي
التسليخ وحده إلى الموت حينما يسبب تدفقاً
دموياً محصوراً أو ممتداً: الأمر الذي
يحرم القلب والأعضاء الأخرى من
الأكسجين والغذيات الضرورية. ولكن هذا
لم يكن أسوأ ما في قصة «كارميلا» فلقد
أشارت التقارير scans إلى وجود دم في
التامور pericardium لديها، وهو الكيس
المحيط بالقلب. وهكذا فقد حصل التسليخ،
وكانت تتحرك على غير هدى وقد فقدت
وعينا، وهبط ضغطها. وأصيبت بصدمة
وظهرت الحاجة إلى إجراء عملية فورية
تركزت الأطفال مع أحد الجيران
واندفعت إلى المستشفى وهناك استقبلنا
بالجزء الضعيف من أبهر «كارميلا» وعاء
صناعياً من الداكرون. وهو سيج يحاك
على شكل أنبوب مرن ولكنه متين كما
وضعتنا صناعياً اليها بدلاً من الصمام
الأبهرية المتضرر الذي يتحكم في تدفق
الدم حين مغادرته القلب. وبدأت «كارميلا»

كان أول سبب رئيسي جميل، وكنت فيه
مسؤولاً عن رعاية أطفالنا. كنا خارج المنزل
نستعرض المحلات القريبة من حديقتنا حينما
اتصل بي «د. كوهن» [طبيب القلب الشهير
وزميلي في جامعة ييل] وقد بدأ يحتاجاً جداً
أعرفه رجلاً قليل الكلام، بيد أنه كان يتحدث
بسرعة، وبطريقة تهم عن انفصال شديد
وسمعتة يقول «أنا بحاجة إليك يا «جون»
تعال إلى قسم الإسعاف. الآن الآن إنها تموت
يا «جون» إنها تموت الآن أمامي».

كانت الحالة شديدة الإيلام: وكان
«كوهن» يتابع وضع السيدة الإيلام: وكان
سنوات حين أتى زوجها ليدرس في جامعة
ييل. وبذا أصبحت «د. كولمان» كأحد
أعضاء الأسرة كان عمرها 32 عاماً وتعاثي
متلازمة مارفان Marfan¹، وهي اضطراب
في النسيج الضام يميل إلى أن يسبب
أمهات الدم الأبهرية aortic الصدرية: وهي
تضخمات خطيرة في الجزء العلوي من
الشريان الواسع الذي ينقل الدم من القلب،
وينزل عابراً الصدر، ويصل إلى البطن.
فإذا تركت أمهات الدم دون علاج، فقد تكبر
حتى تصل إلى التمزق rupture الذي يغلب
أن يفضي إلى الموت ويتمثل التدخل
الوحيد في إجراء عملية وقائية يتم فيها
وضع مكونات صناعية بدلاً من المناطق
المخربة. بيد أن لهذه الجراحة أخطارها
الخاصة بها، ولذا يتمتع الأطباء عن اللجوء
إليها إلى أن يحين وقت تبدو فيه ذات أهمية
مطلقة وبما أن الشريان الأبهر لدى



تشكل أمهات الدم، أو الانتفاخات، في الشريان الأبهري تهديدا صامتا - ولكنه يحمل الموت في طياته للمرضى الذين يؤوونها.

الداء المتفشي خلسة^(١)

ولأنني جراح قلب، أركز على الاضطرابات التي قد تؤذي القلب، كأمهات الدم الصدرية. ولكن بوسع أمهات الدم أن تنشأ في أي شريان ويحدث عدد كبير منها في الأبهري السفلي أو البطن. أي القسم الذي يسير من الحجاب diaphragm إلى المنطقة فوق الحوض pelvis، حيث التفرعات الشريانية تحمل الدم إلى الساقين وأظهرت الأبحاث التي أجراها باحثون آخرون أن الأليات التي تشكل أساس نماء أمهات الدم الأبهري وتسلخها وتمزقها مشابهة للآليات

Overview: Aneurysms (١٠)
Silent Stalker (٤٠٠)

الوقت الذي ينبغي لهم أن يتدخلوا فيه كي يتمكنوا من تجنب هذا النوع من المواقف المفجعة. كالتي حلت د «كارميلا» وأتت بها إلى قسم الإسعاف في صباح ذلك اليوم.

الأبهري الصدرية وعلى الخصوص سرعة نماتها، وكيفية تحديد الزمن الذي قد تصبح فيه حرجة. ومن هم الأكثر تعرضا لها وساعدت هذه التبصرات الأطباء على تحديد

نظرة إجمالية/ أمهات الدم^(٢)

- لم يكن السريريون متأكدين عموما من الوقت الذي يجب فيه إجراء عملية لأم الدم الأبهريّة - وهي انتفاخ في الشريان الكبير الذي يحمل الدم من القلب، وإذا ترك الأمر من دون معالجة، فقد تتمزق أم الدم أو تتسلخ على نحو قاتل نتيجة انخلاع الطبقة الداخلية للوعاء الدموي عن جداره. غير أن المداخلة الوحيدة المحققة، وهي الاستعاضة عن الأبهري المتضرر بأجزاء صناعية، هي في حد ذاتها خطيرة.
- قادت التحليلات المفصلة لبيانات آلاف المرضى إلى خطوط إرشادية نحو أفضل وقت لإجراء العملية.
- إن رافعي الأثقال المصابين بأمهات الدم هم على وجه الخصوص معرضون لخطر الموت الفجائي خلال التدريب، ويجب عليهم اتخاذ احتياطات خاصة.

مخاطر أمهات الدم

d والصورة. أو إن حصل كلاهما. وينجم التسليخ، الذي هو انه الإقسام الداخلية والخارجية لجدار الوعاء بعضها عن بعض. تسرب الدم إلى أواسط الجدار عبر شق في البطانة الداخلية طريق تحليل آلاف الحالات، عرف المؤلف وزملاؤه كيفية توقع

يشبه الأبهر السليم **d** في شكله العصا، كما يشبه في اتساعه خرطوم ماء الحديقة. إن أم الدم، التي يمكن أن تحدث في أي مكان من الأنبوب، هي انتفاخ يبرز عن الجدار **b** ويترقق هذا ويضعف مع تضخم أم الدم. وقد تكون الحالة مميتة. إن تمزق النسيج **c** أو تسليخ



حينما تتمزق أم الدم أو تتسليخ فقط. وهو شديد جدا ويصفه المرضى بأنه إحساس يتمزق يحدثه شيء. كالتسكين مرافق للنوبة. وهو أسوأ في درجته من ألم الولادة أو نوبات الحصى الكئوية

وإمكانية بقاء المريض حيا بعد هذا الحادث ضعيفة إلى حد ما. ويغلب أن سبب التمزقات الوفاة فورا ولكن هناك بعض الحالات التي يحالفها الحظ، وفيها تتمزق شح محاورة من الاحتشاد عند الشق في الأبهر والحفاظ على البنية زما يكفي وصول المريض إلى المستشفى أما بالنسبة إلى التسليخات، فالبقاء على قيد الحياة يعتمد على الموقع فإن تركت التسليخات التي تبدأ في الأبهر الصاعد - وهو الشدة segment

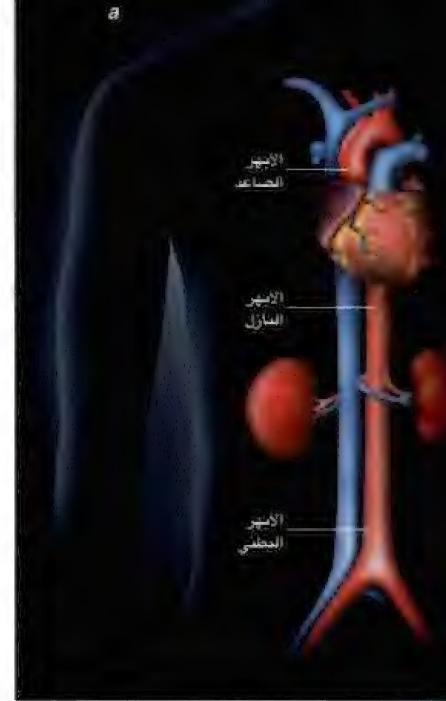
This Point of Aneurysm

لنكولن. قد أصيب بهذا الاضطراب الذي كان مرضا يقتل معظم ضحاياه في عمر متوسط، وذلك قبل أن تصبح الجراحة أمرا متاحا وهكذا، فمن المحتمل أن رئيسا السادس عشر (لنكولن) ربما كان قد مات مبكرا لو لم يتم اغتياله

تتصف أمهات الدم الأبهرية بالغدر إذ تنفثش بصمت واطراد ويمكن للوعاء الدموي أن ينتفخ دون أن يسبب ألما. وفي الواقع، يتم اكتشاف وجود أم الدم لدى المرضى حين فحصهم لأمر آخر. قال الطبيب قد يعثر على الانتفاخ المثار بالخطر خلال فحص بفائق الصوت ultrasound لتحري نفخة قلبية أو أثناء إجراء تصوير طبقي محوسب CT scan للوقوف على سبب سعال مزمن ويحدث الألم في الغالب

التي تتحكم في سير أمهات الدم في الصدر إن أمهات الدم التي تصيب الأبهر هي الأشد تهديدا للحياة وفي كل عام يموت ما يزيد على 15000 فرد في الولايات المتحدة نتيجة لانفجار أم الدم في الصدر أو البطن، أو نتيجة لتسليخها وهو عدد يفوق عدد الذين يموتون بسبب الأيدز وفي هذا المجال يُذكر أن ٨٠ أيشيتاين، ونجم الكرة الطائرة الأولمبي ١٠ هيمان، ولاعب كرة السلة ٨٠ بيرس - بجامعة فلوريدا الحكومية - والممثلون ١٠ بول - و١٠ سكوت - و١٠ ريتور - هؤلاء جميعا نجوهم بسبب أمهات الدم الأبهرية الصدرية وإن الأفراد الذين يعانون منلازمة مارفان Marfan هم عرضة لها بصفة خاصة وقد ذكر المؤرخون احتمال أن رئيس الولايات المتحدة ٨٠

سقي يزاد فيه احتمال تمزق أم الدم أو تسلخها
يصح لمثل هذه المعلومات أن تساعد على تقرير
سلي لنفوق الحاجة إلى جراحة تصحيحية على
الخطر الكامنة في هذا الإجراء.



ارتفاعاً شديداً حينما تصل أم الدم في
الأبهر الصاعد إلى قطر يبلغ نحو 6
سنتيمترات. وقد وجد أن ما يربو على 30 في
المئة من المرضى الذين وصلت أمهات الدم
لديهم إلى ذاك الحجم تعرضوا لمضاعفة
مدمرة: إما التمزق أو التسليخ. وفي الأبهر
النازل، تزداد الخطورة ازدياداً مريعاً حينما
يبلغ قطره 7 سنتيمترات تقريباً.

وتمثل هذه الأرقام خطر التعرض مدى
الحياة لمضاعفة تمزق أم الدم من أي حجم
أو تسلخها، مع أن الأرقام لا تشير إلى
متى ستحدث الأزمة. غير أن المرضى
الذين يكتشفون وجود أم دم لديهم هم
الأكثر اهتماماً بالأرقام التي تنبئ بالمعدل
السنوي لحدوث المضاعفة. وبكلمات
أخرى، ما إذا كانت أم الدم لديهم
ستؤديهم في المستقبل القريب.

ويتطلب تحديد مثل هذه الاحتمالات
دراسة عدد ضخم من الحالات، وقد جمعنا
حديثاً بيانات تكفي لبدء إجراء التحليلات
الإحصائية الملائمة. وتشمل مجموعة
البيانات تلك معلومات من مرضى مصابين
بأمهات الدم في أي مكان من الأبهر
الصدري. مع أن إصابة نحو ثلثي عدد
المرضى كانت في المنطقة الصاعدة، وشاهد
ميلاً إلى زيادة متدرجة في احتمال وقوع
الحوادث السيئة خلال السنة التالية مع نمو
أم الدم من 4 سنتيمترات إلى 5.9 سنتيمتر.
وما إن يصل الأبهر إلى 6 سم قطراً حتى
تحدث قفزة حادة في درجة الخطورة
[انظر الرسم البياني السفلي والإيضاح في
الصفحة 34]. وعلى سبيل المثال، نجد أن
خطورة التمزق أو التسليخ أو الموت خلال
سنة في حالة وجود أم دم صدرية بقطر 6
سنتيمترات أو أكثر ترتفع إلى نسبة مدهشة
تبلغ 15.6 في المئة. ولا يحمل العديد من
أشكال السرطان هذا الاحتمال السنوي
الضخم للوفيات

وبناء على هذه المشاهدات، نصحن
بوجوب إزالة أمهات الدم في الأبهر
الصاعد جراحياً قبل نمو العيب وبلوغ
القطر 6 سنتيمترات. ونقترح في حالة

الحالات إغلاق تدفق الدم كلياً وتبريد
المرضى من درجة 37 مئوية إلى درجة 18
مئوية لايطاء، الاستقلاب (الأبيض) ومنع
تخرب الدماغ خلال إصلاح الأبهر
وللوقوف على ما إذا كان مثل هذا
التدخل الخطر مضمون العواقب، يجب على
الطبيب أن يعرف مقدار أرجحية تمزق أم
الدم الأبهرية أو تسلخها. وبصفة عامة، إن
أم الدم الضخمة أشد خطورة من أم الدم
الصغيرة. غير أن المعلومات الدقيقة كانت
مفقودة إلى حد كبير حينما وقعت «كارميلا»
مریضة ومع أن أكثر من 300 بحث كانت قد
كتبت حول كيفية إجراء العملية على الأبهر.
لم نجد إلا النزر اليسير من المعلومات المفيدة
عن وضع أمهات الدم الأبهرية قبل الجراحة.
وعلى الخصوص سرعة توسعها ورجحان
انفجارها أو تمزقها في كل حجم. فمثلاً، لقد
تسلخ أبهر «كارميلا» حينما كان قطره 4.8
سنتيمتر. وهو قياس بسيط نسبياً. وكان ذلك
سبباً لعدم توقع وقوع الحادث. (يبلغ قطر
الأبهر الصدري الطبيعي نظمياً بين 2.5 و3.5
سنتيمتر) وهكذا، رأينا أن طرح الأسئلة عن
نمو أم الدم واستمراره. هو نقطة جيدة
لانطلاق تحرياتها.

بروز نقطة ابتداء

ولتسهيل الحصول على هذه المعلومات
من قاعدة بياناتنا، صمم «ريزو» في البدء
طرائق إحصائية متطورة أتاحت لنا أن نحدد
بدقة سرعة نمو أمهات الدم. لقد وجدنا أن
معظمها ينمو ببطء مدهش لا توقف فيه يبلغ
نحو 0.12 سنتيمتر سنوياً. وعلى هذا،
تستغرق أم الدم عموماً عقداً من الزمن لتكبر
سنتيمتراً واحداً فقط. وتوحي هذه النتيجة
بأن أمهات الدم المكتشفة في أواسط العمر
لدى الكبار ربما بدأت بالتواء حينما كان
المرضى في سن الشباب أو أبكر من ذلك
وسمحت لنا طريقة إحصائية ابتكرها
«ريزو» بتقدير احتمال تمزق أو تسلخ
أمهات الدم الصدرية من قياسات مختلفة،
وادهشنا دقة النتائج واعتماداً على
بياناتنا، يرتفع احتمال التمزق أو التسليخ

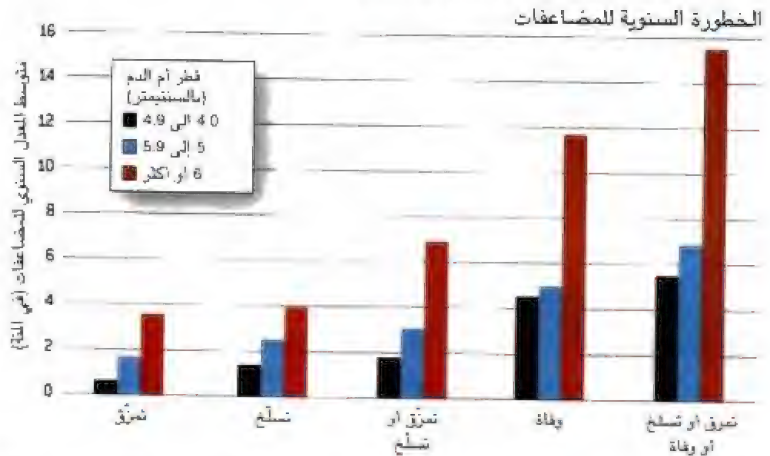
الصادرة من القلب - دون معالجة، كانت
قائلة خلال ساعات أو أيام: إذ يوسع
التشققات في هذه المنطقة أن تزحزح
الصمام الأبهر الأيضي aortic valve إلى
صدمة، أو ربما تغلق الشرايين الإكليلية
مسببة هجمة قلبية. وليست التسلخات في
الأبهر النازل على طول خلف الصدر مهددة
بالقدر ذاته. فهي تتمزق على نحو أقل نواتراً
من تلك التي تحدث في الأبهر الصاعد،
ولا تشترك الاثنان في المضاعفات نفسها
ويوسع الجراحة أن تمنع التمزق أو
التسلخ، ولكن عملية استبدال الأبهر خطيرة
جداً وباضعة invasive في إجراءاتها كلها.
وتقتضي هذه العملية إيقاف القلب وتحويل
الدم عبر آلة القلب - الرئة. واعتماداً على
سوق أم الدم، يجب على الجراحين في بعض



السرق في الأسرة

ولإنقاذ المزيد من المرضى، يعتمد الأطباء إلى الإفادة من معرفة الأقارب للأعراضيين⁽¹⁾ asymptomatic المعرضين لخطر الإصابة بأمهات الدم، كي يتمكنوا من كشف الحالة مبكراً، ومراقبتها عن كثب ومعالجتها فوراً. إن متلازمة مارفان هي إنذار معروف تماماً، وينتهي الأمر بالعديد ممن يعانون هذه المتلازمة بالإصابة بأمهات الدم الأبهريّة غير أن مرضى متلازمة مارفان لا يمثلون إلا 5 في المئة فقط من مرضى أم الدم جميعهم. أما نسبة الـ 95 في المئة المتبقية فهي حالات غامضة ويبقى سببها مجهولاً حتى الآن.

اعتقد الأطباء يوماً أن أمهات الدم ناجمة عن التصلب العصيدي atherosclerosis الذي هو تراكم لويحات دهنية في جدار الشرايين. غير أننا وجدنا أن مرضى أمهات الدم في الأهر الصاعد هم في الحقيقة أقل استعداداً للإصابة بالتصلب العصيدي من الناس عموماً. ولذا ربما لا يشكل تواضع اللويحات سبباً في حالتهم. ومن جهة أخرى، غالباً ما تبدو أمهات الدم في المناطق السفلية والبطنية مترافقة بلويحات في



لقد تم حساب احتمالات حدوث التمزق أو التسليخ في أمهات الدم الأبهريّة الصدرية. وفي إحدى الدراسات، رسم الباحث وزملاؤه بياناً الخطورة التي تكمن في أمهات الدم الصغيرة البالغة 4 وحتى 4.9 سنتيمتر. ووجدوا ارتفاعاً هاملاً في الخطورة حينما تصل أمهات الدم إلى قياس 6 سنتيمترات في الأهر الصاعد (المخطط العلوي) أو 7 سنتيمترات في الأهر النازل (غير موضح). كما أظهرت دراسة أخرى (المخطط السفلي) أن احتمال التمزق أو التسليخ أو الموت خلال السنة التالية يرتفع أيضاً بحدّة في أمهات الدم التي تصل إلى 6 سنتيمترات أو أكثر [إن المعدلات المبينة بالنسبة إلى التمزق أو التسليخ، وبالنسبة إلى التمزق أو التسليخ أو الوفاة، هي أدنى من مجموع المعدلات في الفئات الغربية، إذ جرى حساب المرضى ذوي المضاعفات المتعددة مرة واحدة فقط في الفئات المجتمعة]. واعتماداً على معلومات كهذه، قرر الباحثون أن العديد من مرضى أمهات الدم في الأهر الصاعد بحاجة إلى جراحة تصحيحية حينما يتفخخ الشريان حتى 5.5 سنتيمتر.

الدم ذات مقاييس أصغر مما جئنا على ذكره للمرضى الذين يعانون متلازمة مارفان أو لديهم سوابق عائلية من الإصابة باضطرابات ذات علاقة بأم الدم مادامت هذه تشكل تهديداً للحياة بين هؤلاء الناس في وقت مبكر. وإننا نرى أن استخدام هذه المعايير سيمنع وقوع معظم التمزقات والتسلخات دون تعريض المريض لمخاطر الجراحة الأبهريّة على نحو ملائم أو قبل

معظم الناس الذين ليست لهم سوابق عائلية من أمهات الدم إجراء العملية حين بلوغ الآفة 5.5 سنتيمتر. أما بالنسبة إلى الأهر النازل، فربما تجري الجراحة عندما يصل القياس إلى 6 سنتيمترات إن كان المريض في صحة جيدة تسمح له بتحملها ولكن تؤجل الجراحة أحياناً حتى نحو 6.5 سنتيمتر إن كان المريض ضعيف الجسم ونحن نجري العمليات حينما تكون أمهات

(1) All the Family

(1) المصابين بمرض لا يترافق بأعراض سريرية مع وجود أعراض مرضية على مستوى الخلايا والأعضاء (التحرير)



لقد أصبح جدار الأبهر رقيقا جدا في ام دم بلغ قطرها 6 سنتيمترات، حتى امكن من خلاله رؤية تدريجات مسطرة وضعت وراء نسيج الجدار. وتشير النتائج الحديثة إلى أن أمهات الدم ناجمة جزئيا عن قرط نشاط إنزيمات، تعرف بالإنزيمات البروتينية المحفزة (MMPs)، تهضم البروتينات اللازمة لمرونة جدار الشريان.

أين يكمن الخطأ

إذا تم تحديد الجينات التي تحدث فيها الواسمات SNPs المتصلة بأم الدم، تمكنا من تمييز البروتينات التي تكوونها تلك الجينات وعرفنا كيف تسهم هذه في سوء وظيفة الأبهر. بيد أن لدى الباحثين إحساسا ببعض البروتينات التي ربما تكون معنية بالأمر فمثلا، نحن نعرف أن الجزء المتعطم من جدار الوعاء في معظم مرضى أمهات الدم الأبهرية يبدي ضياعا في الألياف المرنة وفي الكلاجين collagen مقارنة بالنسيج السليم. وتضافر هذه البروتينات يمنع الشريان قوته ومرونته. ويمكن للعيوب التي تسهم في هذه المشكلة أن تحدث في الجينات التي تكود تلك البروتينات أو في غيرها من الجينات التي تنظم تصنيع أو صيانة الإيلاستين (المرن) elastin والكلاجين.

وفي مثلارمة مارفان، يغلب أن تؤدي العيوب الجينية المسؤولة عن الضرر إلى حرمان الجينة من الفبريلين (الليفين)، وهو بروتين يتضافر مع الإيلاستين لتشكيل الباف مرنة. ونتيجة لذلك، تقع الفوضى في اصطناع وتوضع الفبريلين؛ وهي مشكلة يفترض أنها تضعف جدار الأبهر وتعرضه لتشكيل أم الدم.

What Goes Wrong (١٠)
trait (١١)
aneurysm gene (١٢)
markers (١٣)

أفضل والتوصل في نهاية المطاف إلى تحسين طرق المعالجة، بدأنا بالتعاون مع علماء من مركز سيليرا Celeris للتشخيص في الاميدا بكاليفورنيا. بالبحث عن واسمات جينية تدعى SNPs - أي: متعددات الأشكال ذوات النويدات المفردة - التي ترتبط بالمرض الأبهرية. إن الواسمات SNPs هي سلاسل دنوية DNA تختلف في نوويد مفرد، أو في رسالة مكودة، بين قسم من السكان وآخر. ويقارن «ك ديقن» و«و» ياكوبوفا وفريقهما في سيليرا عينات من الدنا مستحصلة من 500 من مرضانا المصابين بأمهات دم صدرية ومن بين 500 فرد أصحاء الجسم. هم في هذه الحالة أزواج المرضى. وبالاتماد على وسائل مؤتمتة سيجرون فيما بعد تفريسا scan 16 000 منطقة وراثية للواسمات SNPs التي تظهر بتواتر أكثر في المرضى مما هي في الشواهد الأصحاء.

وأظهر عملنا المبدي عددا من الواسمات SNPs التي ربما نحدد تزايد الخطورة، ونحن نقوم بمتابعة هذه النقاط الأساسية في مجموعة مرضانا الضخمة. إضافة إلى ذلك، تجري دراسة مشابهة على مرضى أم الدم في أوروبا للتأكد من صحة نتائجنا في مجموعات سكانية مختلفة.

الأبهر وفي تفرعاته، مما يوحي بأن التصلب العصيدي ربما يسهم في حدوث أمهات الدم تلك.

أظهرت قاعدة بياناتنا أن معظم أمهات الدم الصدرية ذات مكون وراثي (جيني) قوي من نوع ما وينطبق الأمر ذاته على أمهات الدم في الأبهر البطني وفي الدماغ وقد أصبنا بدهشة بالغة عندما راجعنا القصاص العائلية للمرضى المصابين بأمهات الدم، واكتشفنا مقدار تواتر ذكرهم أن قريبا لهم أصيب بأم الدم أو فردا من أسرته مات فجأة أو على نحو غير متوقع في عمر مبكر وغالبا ما نسب حدوث الشكل الأخير إلى

توقف القلب، ولكن تشريح الجثة أظهر في حالات عديدة أم دم متمزقة. وفي 500 أسرة قمنا بتحليل معلومات عن أنسابها، وجدنا أن نحو 20 في المئة منها ذات سوابق إصابة بأم الدم. ويبدو أن هذه الخلطة "مسيطرة في معظم الأسر: وبكلمات أخرى لا يحتاج الفرد إلا إلى وراثة جينة أم الدم" من أحد الأبوين كي يتعرض للإصابة. وفي إحدى هذه الأسر نقل الأب مرض الأبهر إلى أولاده الأربعة جميعا وأظهرت أسر أخرى أنماطا مختلفة من الوراثة: مما يشير إلى أن أكثر من جينة واحدة يمكنها أداء دور في الاستعداد للإصابة بأم الدم.

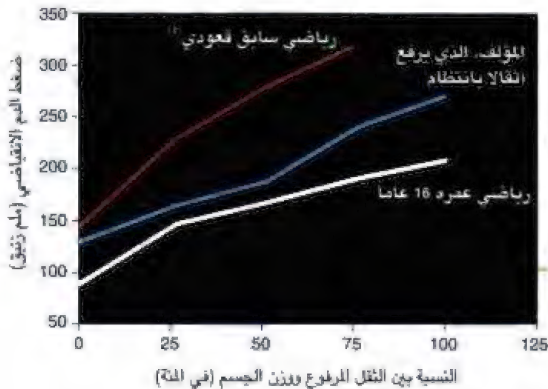
إذا أتيح تحديد الواسمات الجينية التي تدل على ازدياد الاستعداد للإصابة بأم الدم، فربما تمكن الأطباء يوما من استخدام اختبار دموي بسيط لإجراء تعيين دقيق للمحتاجين إلى مراقبة شديدة لكشف أمهات الدم مبكرا وتقرير أفضل وقت للجراحة. وقد تعتمد تلك الاختبارات على التصوير الطبقي المحوسب CT scan أو تخطيط صدى القلب echocardiogram. وإن أمكن إيجاد الجينات الحقيقية المسؤولة عن الخطأ، فربما صار الباحثون قادرين على تطوير طرق مداواة تبطل على وجه الخصوص تأثيراتها السيئة، كإبطاء نمو أمهات الدم أو منع حدوثها عن طريق إحصار النشاطات غير المرغوبة للبروتينات التي تكودها encoded تلك الجينات.

ومع سعيانا الدؤوب لإيجاد طرق كشف

تحذير لرافعي الأثقال⁽¹⁾



شاب يعاني تسليخاً ابهرياً حرّضه رفع أوزان ثقيلة جداً ولا يزال يحمل ندبة الجراحة التي أجريتها له وانفقت حياته. أتاحت له فرصة حسنة حينما عجل في حدوث التسليخ الارتفاع الحاد في ضغط الدم خلال اختبارات الأهلية ويمكن أن يرتفع ضغط الدم حتى بين الأصحاء ويصل إلى قيم هائلة تفوق 300 ملليمتر زئبقي في أثناء رفع الأثقال (المخطط).



في أواخر عام 2003 نشرت مع زملائي في «مجلة الجمعية الطبية الأمريكية» حدوث تسليخ الأبرهر المأساوي في أفراد بدوا في صحة جيدة ظاهرياً وكانوا يمارسون تدريباً رياضياً عتيقاً. وكان لدى كل منهم، دون علمه، انتفاخ في جزء الشريان الأبرهر الصادر من القلب، وحدث فجأة على نحو يهدد الحياة أن انفصل النصف الداخلي من الجدار المتعطف عن الجزء الخارجي. وكان اثنان منهم حين التسليخ يرفعان أثقالاً، وكان اثنان يمارسان التمارين الرياضية لععضلات الذراعين والكتفين، وكان الخامس يحاول رفع قطعة ثقيلة من حجر الصوان (الكرانيت). وقد انقذ ثلاثة منهم يدخاله جراحية. ومنذ ذلك الحين، أصبحنا على علم بعشرات الحالات الأخرى من تسليخ الأبرهر أثناء رفع الأثقال، مما يشير إلى أن الظاهرة ليست نادرة في المجال الطبي.

أين يكمن تفسير هذه الصلة؟ يبدو جزء من ذلك في أن التمارين الرياضية التي تتطلب التعطف للضاد لمقاومة ثابتة، كما يحدث في رفع الأثقال، يمكنها أن ترفع ضغط الدم وتوصله إلى مستويات عالية بشكل خطر. وقد سجلت بعض الدراسات ضغطاً انقباضياً (وهو الضغط في الشرايين حين انقباض القلب) بلغ 380 ملليمتر زئبقياً بين رافعي الأثقال المتنافسين، مع أن القيمة الطبيعية له هي 120 أو دون ذلك. وأكدت حدوث هذا الارتفاع في الضغط في دراسة لنا شملت ثلاثة متطوعين. لقد وصل الضغط عند أحدهم إلى 319 ملليمتر زئبقياً حينما كان يرفع وزناً يعادل ثلاثة أرباع وزن جسمه (المخطط).

وربما كان مثل هذا الضغط كبيراً جداً بالنسبة إلى شريان سبق تعطفه فلا يستطيع تحمله. ووجدنا من دراسات أخرى للخصائص الميكانيكية للأبرهر المتمد أنه في حدود 200 ملليمتر زئبقي، تمارس أم الدم البالغة 6 سنتيمترات 800 كيلو باسكال من الضغط - وهي قيمة تساوي مقاومة الشد tensile strength العظمى للأنسجة. ولذا لن يهضفاً الا تقاوم لم الدم الأبرهية المعرضة لضغط دم يقترب من 300 ملليمتر زئبقي أو يفوقه.

ويسبب هذا الارتفاع في الضغط نقول للرياضيين ذوي السوابق الشخصية أو الأسرية لام الدم الأبرهية أو لأي توسع أبهري معلوم أن يلزموا الحذر الشديد في ممارستهم رفع الأثقال، وربما تعين عليهم أن يحدوا من نشاطاتهم في رفع الأثقال إلى ما يساوي نصف أوزان أجسامهم أو دون ذلك. وقد يكون رفع الأثقال مفيداً جداً للحفاظ على الكتلة العظمية وقوة العظام؛ غير أننا ننصح بشدة الأفراد الذين يتوون المباشرة في برامج التدريب على رفع أوزان ثقيلة أن يجروا مخطط الصدى echocardiogram لقلوبهم لفحص احتمال وجود أمهات دم لديهم قبل الشروع في رياضتهم.

J.A.E.

دور الإنزيمات MMPs ذات النشاط المفرط ونوحى هذه النتائج أن الأدوية القادرة على حصر نشاط الإنزيمات MMPs قد تساعد على تثبيط نمو أمهات الدم الأبرهية أو الحيلولة دون تمزقها. ولكن دراسة هذه الفكرة لاتزال في بداياتها

وبدأنا مؤخراً مع زميلنا <G> كولياس< من جامعة ييل> بتقييم الخواص الميكانيكية للأبرهر المتوسع لنعرف بشكل أفضل السبب الذي يجعله أشد خطورة حينما يتضخم

A Warning for Weight Lifters (1)
turnover (1)
inhibitory proteins (2)
degradation (3)
sedentary (4)

لا يجد الثقل أو يعمل معظم أعماله (التحرير)
قاعدة 1

البروتينات في جدار أبرهر سليم على نحو يبقى فيه انقلاب البروتين ثابتاً. وعلى نقبض ذلك، نجد في شذف الأبرهر التي أزيلت من مرضانا المصابين بأم الدم في نمطين من الإنزيمات MMPs ونقصاً في مقادير أحد البروتينات المثبطة وقد يؤدي انعدام التوازن هذا إلى ازدياد تدرك البروتينات، بما فيها الأيلامستز والفيريلين، في جدار الأبرهر؛ وهي حالة يمكنها تهديد الطريق لأمهات دم أبرهية صدرية عن طريق إضعاف جدار الوعاء. وفي أحد المرضى، أصبح الأبرهر رقيقاً جداً إلى درجة امكن فيها قراءه علامات مسطرة عبر جداره. ووجد علماء آخرون دليلاً على

ومع ذلك، لا أحد يعرف حتى الآن مقدار شيوع الطفرات في جينة الفيريلين بين المرضى المصابين بمتلازمة مارفان. لقد وجدنا مؤخراً دليلاً على أن الوفرة المفرطة في بعض الإنزيمات في جدار الأبرهر ربما أسهمت في تشكل ونماء أمهات الدم في ضحايا عديدين إن الأوعية الدموية جميعها تؤوي إنزيمات تدعى الإنزيمات البروتينية المفكزة (MMPs) metalloproteinases التي تمضغ البروتينات القديمة لتسمح بصنع أخرى جديدة. وتملك الأوعية ذاتها أيضاً بروتينات مثبطة تساعد على إبقاء الإنزيمات MMPs في وضع حرج. ويتوازن نشاط هذه

من يجب أن يقلق^(*)

إن أم الدم الأبهريّة شبيهة، في بعض النواحي، بقنبلة موقوتة في الصدر. فقد تبقى صامتة إلى أن يأتي يوم تتمزق فيه أو تتسلخ. ولكنّ هناك ظروفًا معينة غالبًا ما تشير إلى استعداد شخص لأمهات دم أبهرية هي:

- وجود سوابق عائلية لأمهات الدم.
- وجود فرد ما في الأسرة أصيب بوهط collapse صحي ومات فجأة أو دون توقع.
- وجود متلازمة Marfan أو سماتها، وتشمل هذه الأطراف الطويلة والبنية العامة الطويلة والتخيلة، والمفاصل اللينة [كما يتضح في قدرتها المميّزة في الأيسر على ثني الإبهام حتى يقطع كامل المسافة الواقعة فوق راحة اليد مع الحفاظ على اليد منبسطة].



أقول وزملائي للمرضى الذين تنطبق عليهم أي من هذه المعايير - أو الذين يتوهم الانخراط في رياضة رفع الأثقال - أن يجروا فحريات scans متعلّبة محوسبة أو مخططات لصدى القلب لمراقبة وجود أمهات الدم. إن التدريب على رفع الأثقال لا يزيد من خطورة الإصابة بأم الدم؛ ولكن، وكما هو مذكور في الموطر في الصفحة المقابلة، يزيد من احتمال أن تصيب أم الدم الموجودة قاتلة على نحو مفاجئ.

J. A. E.

ونحن نقيس قطر أم الدم وسماكة جدارها وضغط الدم في أثناء انقباض القلب واسترخائه قبل أن نزيلها جراحيا. واعتمادا على هذه المعلومات يمكننا حساب خصائص الوعاء الدموي الميكانيكية.

لقد بيّنا أن تضخم الأبهر يؤدي إلى إضعاف قابلية انتفاخه أو قدرته على التمدد. كما بيّنا أنه في الوقت الذي تصل فيه أم الدم في الأبهر المساعد إلى 6 سنتيمترات قطرا - وهي القيمة الحرجة ذاتها التي وجدناها في دراستنا السابقة لسلوك أم الدم - يصبح الوعاء، كتنوب قاس وهذا النصلب يرفع إلى الحد الأعلى الجهد الذي يمتصه جدار الأبهر بينما يجتازه الدم مع كل نبضة قلب، ويساعد ذلك على شرح السبب الذي يجعل الاضطراب يقع غالبا حينما تصل أم الدم إلى البعد الحاسم البالغ 6 سنتيمترات.

إن انعدام المرونة يهيئ الظروف لبلوغ أم الدم الأبهريّة مرحلة كارثية ولكن ما الذي يجعلها تتجاوز الحد؟ لقد بدأنا بتصنيف الأحداث النوعية التي تسبب حدوث التسلخ في لحظة معينة من الزمن لدى فرد يملك الاستعداد وبعد إجراء مقابلات مع مرضانا في قاعدة بياناتنا، تبين أن نحو ثلاثة من كل أربعة مرضى يتذكرون تعرضهم لعارضة هائلة من الانفعالات الشديدة أو الجهد الجسمي سبق التسلخ تماما. إن ما يملكه

الانتفاخ قد تجاوز 6 سنتيمترات [انظر الموطر في الصفحة المقابلة]. ويبدو منطقيا أن نخمن بأن ارتفاع الضغط الناجم عن أحداث أخرى قد يستحث تمزق أم الدم. مع أننا حتى الآن لم ندرس هذا الاحتمال مباشرة.

لقد أبدى طبيب القرن التاسع عشر الشهير السير «W. أوسلر» مرة ملاحظة قال فيها: «ليس هناك مرض يشعر السريريون أنه يحط من قدرهم أكثر من أم الدم التي تصيب الأبهر». أما اليوم فإن الاستقصاءات التي طالت بيولوجيا أم الدم الأبهريّة الصدرية وسلوكها - بدءا من الاستعداد الوراثي الذي يسبب تشكلها وحتى الأحداث الجسيمة والانفعالية التي تؤدي إلى انتفاخها أو تمزقها - تساعد على جعل الحالة أقل قهرا.

أما «كارميلا» فمستمرة في العيش بصحة جيدة. كما عادت إلى عملها كفنانة. وتقول: «أعرف أن الكلام يبدو مكررا، ولكنني أشعر أنني أُعطيت فرصة ثانية لأعيش حياتي» - فرصة لم تتح لأبيها الذي مات بسبب تسلخ أبهر في عمر 34 عاما. ونأمل أن تقضي أبحاثنا التي أوحّت بها أزمة «كارميلا» في ذاك اليوم الربيعي المريع، إلى إتاحة الفرصة نفسها لمرضى آخرين كثيرين.

Who Should Worry (1)

المؤلف

John A. Elefteriades

تخرج بامتياز كبير في جامعة بيل وبلك بثلاثة اختصاصات هي الفيزياء واللغة الفرنسية وعلم النفس قبل أن يتابع دراسته ويحصل على شهادة الطب والتدرب السريري في الجراحة العامة وجراحة القلب والصدر وهو الآن أستاذ ورئيس الجراحة القلبية الصدرية في تلك الجامعة وفي مستشفى New Haven التابع لها. لقد بدأ برنامج التدريب على رفع الأثقال منذ أن كان في فريق المصارعة في الصف السابع، ويواظب على هذه الرياضة من ذلك الحين. ويستطيع رفع ثقل يساوي 75 في المئة من وزنه الشخصي وهو متأكد بوساطة مخطط القلب أنه لا يفرّج آية أم دم.

مراجع للاستزادة

- Surgical Intervention Criteria for Thoracic Aortic Aneurysms: A Study of Growth Rates and Complications.** Michael A. Coady et al. in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 67, No. 6, pages 1922-1926; June 1999.
- Yearly Rupture or Dissection Rates for Thoracic Aortic Aneurysms: Simple Prediction Based on Size.** R. R. Davies, L. J. Goldstein, M. A. Coady, S. L. Titile, J. A. Rizzo, G. S. Kopf and J. A. Elefteriades in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 73, No. 1, pages 17-27; January 2002.
- Weight Lifting and Rupture of Silent Aortic Aneurysms.** John Elefteriades et al. in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 290, No. 21, page 2803; December 3, 2003.
- Perspectives on Diseases of the Thoracic Aorta.** John A. Elefteriades in *Advances in Cardiology*, Vol. 41, pages 75-86; 2004.
- Kevin Helliker and Thomas M. Burton's *Wall Street Journal* series on aortic aneurysms: www.pulitzer.org/year/2004/explanatory-reporting/works/

Scientific American, August 2005

الراديو الاستعرافي^(١)

سوف تتجنب أجهزة الراديو الذكية والتجهيزات اللاسلكية الحديثة الأخرى عوائق الاتصال، بالتحول أنيا إلى ترددات مجاورة تجدها واضحة.

<5 اشلي>

وفي كل وقت من أوقات اليوم. وعلى العكس من ذلك، فإن النطق الترددية وبارامترات بروتوكولات الاتصال في النظم اللاسلكية الحالية هي ثابتة على الأغلب

حينما ترسل أجهزة الراديو الاستعرافي الإشارات وتستقبلها، سوف تقفز بسرعة بين النطق الترددية^(٢) لشاغرة بحسب المطلوب، متجنباً تلك التي هي قيد الاستخدام. إن هذا القفز بين الأتية بسرعة البرق، سوف يتيح لنظم الراديو الاستعرافي إرسال الصوت والبيانات بسرعة معقولة. وباستغلال موارد الترددات الراديوية^(٣) RF المتوافرة استغلالاً عالي الفعالية، بغية تجاوز اختناقات حركة توفير الطيف، سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر قابلية للاعتماد عليها وأكثر راحة. وربما تصبح أرخص بكثير مما هي عليه اليوم. وبالفعل، إذا تقدمت تقانة الراديو الاستعرافي كما يأمل مطوروها، فسوف يظهر فيض من خيارات الطيف الترددي^(٤) عملياً مع مضي الزمن. ولن تكون موجات الهواء كما كانت عليه من قبل أبداً.

الراديو والهاتف الخليوي وتجهيزات الاتصالات اللاسلكية الأخرى المستقبلية وخلال العقد القادم، سوف تمكن تقانة الراديو الاستعرافي^(٥) أي نظام لاسلكي تقريباً من تحديد واستخدام أي تردد راديوي محلي متاح وغير مشغول، بغية خدمة المستخدم على أفضل وجه. فباستخدام برمجيات متكيفة، يمكن لهذه التجهيزات الذكية إعادة تشكيل وظائفها الاتصالية لتحقيق متطلبات شبكة الاتصال والمستخدم.

سوف يعرف جهاز الراديو الاستعرافي ما عليه فعله اعتماداً على خبرة سابقة. فائناً ذهبك إلى العمل صباحاً، على سبيل المثال، يمكنه، وهو إلى جانبك في السيارة، قياس خصائص الانتشار وشدة الإشارة وجودة الإرسال في النطق^(٦) المختلفة [انظر الإطار أعلى الصفحة 40] بذلك يمكن لوحدة الراديو الاستعرافي بناء قاعدة بيانات داخلية تقرر طريقة العمل المثلى في الأمكنة المختلفة

تبث محطة الإذاعة المفضلة لديك على تردد معين، وحينما تضبط المستقبل على عدد الاهتزازات في الثانية الموافقة لذلك التردد، فإنك تولف دائرة الهوائي لتستخلص تردد المحطة ذاك من الاثير وإذا تداخلت مرسلات أخرى مع ما تستقبله، فإن خيارك الحقيقي الوحيد هو أن تنتظر زوال المشكلة. أما في أفضل الحالات، فيمكن للمستقبل الاستجابة للمشكلة بالتحول فوراً إلى تردد احتياطي عامل يحمل بث إذاعتك. إن مثل هذا الحل مازال بعيداً عن متناول تقانة الراديو الحالية. وهذا المثال قد يوحي بأن المشكلة تافهة. لكن تخيل الآن أن التداخل يسبب انقطاع مكالمات خلوية طارئة وعاجلة في تلك الحالة، يمكن الانتقال المكالمات السريع إلى قناة خلوية صافية أن يكون أكثر من مجرد شيء مفيد - فقد ينفذ حياة شخص في خطر.

يعمل المهندسون حالياً على إدخال ذاك النوع من الذكاء، العمليات التي المرن في أجهزة

نظرة إجمالية/ الراديو الذكي^(٧)

- الراديو الاستعرافي هو تقانة اتصالات لاسلكية ذكية بارزة سوف تكون قادرة على إيجاد تردد راديوي شاغر في الجوار والاتصال بوساطته بغية خدمة المستخدم على أفضل وجه. إذا، سوف يكون الراديو الاستعرافي قادراً على التحول من نطاق من الطيف الراديوي أغلقها التداخل، إلى نطاق شاغر لإكمال قناة الاتصال، وهذه مقدرة مهمة، في الطوارئ على وجه الخصوص.
- سوف تمكن البرمجيات المتكيفة هذه التجهيزات الذكية من إعادة تشكيل وظائفها لتلبي متطلبات شبكات الاتصالات ومستخدميها بحسب الحاجة. وسوف تستند هذه التغيرات إلى المقدرة على تحسس عوامل مختلفة وتذكرها، من قبيل الترددات الراديوية وتصرف المستخدم، أو حالة الشبكة في بيئات إرسال مختلفة، في أي وقت أو مكان. ونتيجة لذلك سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر سهولة وقابلية للاعتماد عليها.
- يمكن للمرونة الجديدة التي يوفرها الراديو الاستعرافي أن تمكن المستخدمين أيضاً من الاستفادة، في نهاية المطاف، من مسارات شبكة لاسلكية أرخص متاحة محلياً لإقامة الاتصال، وهذه سمة يمكن أن تؤثر كثيراً في تحديث أعمال الاتصالات الصناعية والتجارية.

ليس ثمة متسع في الهواء^(٨)

من سو، الطالع أن جميع موجات الهواء تلك شديدة الأزدحام حالياً فبعض النطق

COGNITIVE RADIO (١)
Overview Intelligent Radios (٢)
No Room (٣)

(٤) cognitive radio: والمقصود بالراديو هنا كل ما له صلة بالترددات الراديوية، أما صفة الاستعرافي فتنبوي على مقدرة النظام الراديوي على معرفة البيئة المحيطة به والتصرف بناءً على تلك المعرفة

(٥) frequency bands (٦) bands
(٧) spectrum availability (٨) radio frequency (٩)



تقفز الإشارات اللاسلكية في الراديو الاستعرافي اليها إلى تردد متاح شائع. وتكون النتيجة إرسالات أعلى وثوقية، وربما اتصالات بتكاليف أقل في المستقبل

الترددية مشغولة إلى حد جعل الانتظار الطويل والتداخل هما القاعدة. لكن توافر قنوات الاتصال يعتمد على النظم اللاسلكية المستخدمة. إن الطيف الراديوي، أي ذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يحوي موجات في نطاق الترددات الراديوية، يحتضن اليوم عددا لا يحصى من أجهزة الاتصالات وفي الولايات المتحدة، تخصص وكالة الاتصالات الفدرالية Federal Communications Commission (FCC) المستخدمين بترددات معينة، وتتضمن تلك الترددات النطاق الشهيرة AM و FM والموجة القصيرة ونطاق المواطنين (الأفراد)، وأقنية التلفزيون في النطاقين VHF و UHF، إضافة إلى منات من النطاق الأقل شهرة التي تخدم الهواتف الخلوية واللاسلكية، ونظم تتبع GPS ورادارات مراقبة الحركة الجوية. وأجهزة الإنذار الأمنية، والدمى المتحكم فيها راديويا وما شابهها [انظر الإطار في الصفحة 43]

نجم الشئ الحالي في الطيف الراديوي، في المقام الأول، عن القيود المتمثلة بتكلفة وأداء العتاديات hardware الموروثة التي بُنيت في القرن الماضي. فبحلول نهاية خمسينات القرن العشرين، على سبيل المثال، أرغمت تصاميم الأجهزة التلفزيونية، السائدة حينذاك والقائمة على الصمامات الإلكترونية، النماذج الجديدة التي تستخدم الترانزستورات على استقبال إشارات الـ VHF فقط، إلى أن تمكن المهندسون من إدخال تحسينات على تلك الأجهزة بعد وضع سنوات أما اليوم، فيعالج عدم مرونة العتاديات هذا بتصاميم لاسلكية متكيفة تعتمد على البرمجيات

إن هذا الجيل التالي من تقانة اللاسلكي، والمسمى بالراديو المعروف برمجيا (SDR software-defined radio)، يستخدم خوارزميات معالجة الإشارة المتضمنة فيه لغلبة الإشارات الراديوية الضعيفة، إضافة إلى بنى برمجية قابلة لإعادة التشكيل لاستقبال وإرسال بروتوكولات راديوية جديدة. ويتوقع الخبراء أن هذا التقدم يستند إلى البرمجيات سوف يحدث في المدى القريب نسبيا تحولا مزلزلا

التموذج اللاسلكي الجديد على نظم الراديو

SDR، التي تستطيع إعادة تشكيل خرجها

(1) يتضمن الطيف الكهرومغناطيسي الطيف الراديوي (البن في الصفحة 43) والأشعة تحت الحمراء، والصوت، المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية (2) أي ما يعرف في جهاز الراديو بالموجة المتوسطة، و AM اختصار لـ Amplitude Modulation. أي التضمين

السعوي المستخدم عادة في بث الموجة المتوسطة (3) أي ما يعرف في جهاز الراديو بموجة الـ FM، وهي اختصار لـ Frequency Modulation، أي التضمين الترددي المستخدم عادة في بث الموجات اللاسلكية القصيرة والقصيرة جدا التي تحمل الصوت والموسيقى

(4) أي النطاق الترددي المخصص للأفراد خارج اطر المؤسسات والهيئات

(5) أي الموجات القصيرة جدا، أو الموجات ذات التردد العالي جدا Very High Frequency المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي

(6) أي الموجات الفائقة القصير، أو الموجات ذات الترددات فوق العالية Ultra High Frequencies المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي وفي بعض شبكات الاتصالات الخلوية

(7) أي نظام تحديد الموقع الشامل Global Positioning System

(8) analog (التحرير)

في التصميم الراديوي

إن التغيير يعني، على سبيل المثال، أن تقانات كود الراديو SDR، وتقانات وأجهات التخاطب الراديوية الأناسية الأخرى القابلة للبرمجة والعاملة في حاسوب محمول (مزود ببطاقة صغيرة للوصل مع وحدة راديوية) يمكن أن تستقبل إشارات تلفزيونية وتظهرها فإذا رُود الحاسوب المحمول أيضا ببطاقة راديوية نمائية SDR، أمكنه تحميل برمجيات تتيح له التصرف كجهاز هاتف خلوي أو محطة خلوية قاعدية أو سفكرة لاسلكية شخصية أو حتى أي جهاز راديوي عسكري - أيما كان المطلوب (والمسموح به) لأداء المهمة المعنية. وعلى الرغم من أن الاتصالات اللاسلكية القائمة على الراديو SDR ليست معروفة إلا لقليل من الناس، فإن العالم بدأ فعلا بدخول حقبتها

يأتي الراديو الاستعرافي عقب تقانة الراديو SDR ويبني عليها، ويشتمل هذا



سوف تبقى قنوات الاتصالات المؤقتة، التي تستخدم تقانة الراديو الاستعرافي والعاملة في شبكة الإنترنت اللاسلكية، الأفراد المتقلين على اتصال مستمر، بصرف النظر عن الموقع وعن ظروف الإرسال، فثاء الذهاب إلى العمل، ينحس الراديو الاستعرافي البيئة الراديوية المحلية، ويخار أفضل الوصلات اللاسلكية الشاغرة لاستكمال المكالمات

بالقرب من المنزل، يتصل الراديو الاستعرافي بشبكة منزل المالك الراديوية بهدف نقل الصوت على الإنترنت (VoIP) والنفاذ إلى الشبكة

وبعد مسافة قصيرة، يكتشف الراديو الاستعرافي شبكة جاز محلية لاسلكية تعرض «تقودا طيفية» - أي صققة مقايضة بنفاذ مستقبلي إلى عصبه نطاق ترددية عريضة شاغرة - بعبة الاتصال مزود خدمة إنترنت

3 يوزر مزود خدمة هاتف خلوي ذي سعة منخفضة وقت الهواء مدة 30 ثانية إلى الراديو الاستعرافي حين مرور الشخص عبر المنطقة المحلية

الراديوي التماثلي، والتي تتضمن «وعيا ذاتيا» ومعرفة ببروتوكولات الاتصال وقواعده وإجراءاته. إن هذه التطورات سوف تُنتج راديو استعرافيا قادرا على تحسس بيئة تردداته الراديوية وموقعها، ومن ثم تغيير استطاعته وتردده وطريقة تضمينه وإوامرات تشغيله الأخرى بعبة استخدام الطيف المتاح على نحو ديناميكي

يعني الوعي الذاتي مقدرة الوحدة على معرفة ذاتها، ومعرفة علاقتها بالشبكات الراديوية التي تقطنها، والمهندسون يستطيعون تنفيذ هذه الوظائف بواسطة نموذج حسابي للجهاز وليينته، إذ يُعرّف بوصفه كينونة مستقلة («ذات») تعمل باعتبارها «جهاز راديو». ويعرّف النموذج أيضا «مستخدما» يمكن للنظام اكتساب معرفة عنه

سوف يكون الراديو الاستعرافي قادرا على أن يتحسس تلقائيا كيفية تغيير بيئته الراديوية مع الموقع والزمن بدلالة الاستطاعة التي يُشعها هو والمرسلات الأخرى في جواره. إن بنى البيانات هذه، مع البرمجيات ذات الصلة، سوف تمكن جهاز الراديو الاستعرافي من اكتشاف الشبكات المحيطة به واستخدامها الاستخدام الأمثل، متجنبيا في الوقت نفسه التداخل الذي تسببه أجهزة راديوية أخرى وفي المستقبل غير البعيد، سوف تشارك تقانة الراديو الاستعرافي في الطيف الترددي المتاح تشارك امتليا دون تعليمات من شبكة تحكم،

الأمر الذي يمكن أن يحرر المستخدم في النهاية من العقود والأجور. إن مقدرة تقانة الراديو الاستعرافي على إعادة تعريف الخدمات اللاسلكية الحالية، تصبح واضحة عند النظر إلى جوانبها الاقتصادية. فالفائز الشهيرة لخدمة الهاتف الخلوي، على سبيل المثال، تتضمن نفقات استئجار الطيف الراديوي والأبراج الخلوية، وثمان جهاز الهاتف، إضافة إلى سداد الدين الناتجة من إقامة المحطات الخلوية، وتكلفة الوصلات بين المحطات الخلوية، ونفقات الفوترة، وأرباح مشغل الشبكة. إن هذه النفقات تُدفع في مقابل الاستثمارات التي يقوم بها مزود الخدمة الخلوية لإقامة شبكات راديوية مكرسة وتشغيلها.

يمكن لهذه التكاليف أن تنخفض انخفاضاً كبيراً، ولجودة الخدمة أن تشهد تحسناً عظيماً، عندما يُطلق الراديو الاستعرافي إلى الأسواق. انظر إلى جهاز الهاتف الخلوي، القائم على أفضل تقانة متقدمة، والذي يُباع اليوم. إن أكثر من 1 جيكاهرتز من الطيف الترددي المفيد، لكن غير المستغل استغلالاً تاماً، متاح لذلك الجهاز لكن في أي لحظة، لا يستخدم الجهاز أكثر من 10 ميكاهرتز. أي واحد في المئة فقط مما هو متاح له. حتى إن ذلك الطيف يُختار من حصص طيفية ثابتة. عرض الواحدة منها نحو 100 ميكاهرتز فقط،

تستطيع دارات الجهاز التلوج إليها يُضاف إلى ذلك أن الهاتف الخلوي المألوف يستخدم عدة مئات من ملايين التعليمات في الثانية من الطاقة الحسابية المكرسة، إلى حد بعيد، لمقاييس خلوية معينة ومزود الخدمة يقوم عادة بتحميل هذه المواصفات القياسية لأغراضه الخاصة، من قبيل تقليد البرمجيات من العلل، من دون أن تكون بالضرورة لصلحة الزبون المباشرة لكن ثمة أمر على صلة بالموضوع، إذ يمكن استخدام تلك الطاقة لتحميل برمجيات طرف ثالث تحميلاً آمناً تسمح لجهاز الهاتف بالاتصال بشبكة لاسلكية محلية WLAN مجاناً. وفي مؤتمر تقني حول الاتصالات النقالة في عام 2004، صرح موظف كبير في الشركة Motorola بأن الهاتف المعتمد على الشبكة WLAN صار مجدياً تقنياً منذ سنوات، لكن مزودي الخدمة لا يرغبون في مثل هذا الجهاز ولا عجب في ذلك، فمثل هذا الهاتف يمكن أن يتحول ألياً إلى شبكات لاسلكية محلية مُشتركة أثناء وقت العمل، حارماً مزودي الخدمة من أجور ساعات كل يوم.

لكن عفريت الراديو الاستعرافي خرج من قمقمه فدخل الراديو SDR الطيف الراديوي القليل الاستخدام، مع برمجيات التحكم التلقائي في الراديو الاستعرافي (والتي تعمل لصلحة

Can You Hear Me Now? [14]

عمل الراديو الاستعرافي وبسبب
عمل مكالمات دورية شرطة إلى
مقابل استخدام نطاق ترددي
يخصص الشرطة، في المستقبل،
سيتكون من شبكات المدينة إلى طيف
الراديو



5 يستأجر الراديو الاستعرافي قناة من شبكة
محلية لاسلكية. تخصص مرفقا محليا، مدة
دقيقتين حين اقترابه من محطة توليد الطاقة



6

حين وصول الشخص إلى مكان عمله، يتعرف الراديو
الاستعرافي عدة شبكات لاسلكية محلية مجاورة.
ويتحول إلى الشبكة المحلية اللاسلكية الخاصة بمكان العمل
أثناء النهار. وإلى شبكة المقهى اللاسلكية أثناء وقت
المطعم المحلية اللاسلكية بعد
الخروج من العمل



توافر طيف حر^(١)

المستهلك). يؤخران مسارا لأعمال صناعية
وتجارية باتجاه اعتماد تلك التقنية

باستثناء نطاق الترددات العالية، ونطاق
ال موجات الميكروية التي هي أعلى من
6 جيجا هرتز، فإن ثمة نحو 2.8 جيجا هرتز من
الطيف الراديوي المخصص حاليا، والواقع
بين 28 و 5600 ميكا هرتز. قليلة الاستخدام
ومتاحة للراديو الاستعرافي (يُستنتج هذا
التخمين من حساسية المستقبلات الاسمية
ومن مستويات الربح في الهوائيات الموجودة
حاليا) من ناحية أخرى، فإن نطاق الهاتف
الخلاوي وخدمات الإنترنت اللاسلكية كثيرة
الاستخدام في أغلب الأحيان. وثمة عدد
هائل من الأدوات الإلكترونية الصغيرة،
كمفتاحي باب السيارة وبوابه المرائب
اللاسلكيين، والدمى المتحكم فيها راديويا،
تستخدم تلك النطاق الترددية لنقل البيانات
مسافات قصيرة ويمكن لحشد من
المستخدمين، الموزعين بنموذج طائرة متحكم
فيه راديويا، مثلا، أن يغرق الطيف
بالانشغالية، يضاف إلى ذلك أن النطق
الخلاوي، التي تكون عادة شائعة تقريبا في
الساعة 3.30 فجرا، تُشغل تماما في وقت
ذروة الاتصالات عند الساعة 10.0 صباحا،
أو أثناء العودة من العمل مساء، خاصة إذا

كان ثمة ازدحام في حركة السير
أما عند الترددات التي هي أعلى من 6
جيجا هرتز، فالرطوبة والأمطار والتلوج تمتص
الإشارات الراديوية امتصاصا شديدا حتى
في الهواء الجاف، فإن الامتصاص يبلغ ذروته
بالقرب من 20 جيجا هرتز و60 جيجا هرتز. ومع
ذلك، فإن وصلات معينة قصيرة لنقل البيانات
(تصنف عادة على أنها وصلات «المعسكر» أو
وصلات «أعلى التل» العسكرية) تحقق حاليا
معدلات إرسال بيانات من رتبة الميكابايت في
الثانية على ترددات بجوار 34 و 70
جيجا هرتز. وقد مكنت أخيرا قدرات الحاسوب
المتنامية الأجهزة اللاسلكية، العاملة في هذه
النطق العليا، من توفير عرض نطاق أني من
رتبة الجيكابايت في الثانية ضمن مناطق تغطية
صغيرة جدا، تسمى «الخلايا البيكوية»
picocells. ويمكن لهذه التقنية أن تكون مفيدة
أيضا للمستخدمين المتنقلين بالسيارات الذين
يتصلون معا على الطرقات العامة، أو للمشاة،
أو للنظم اللاسلكية الثابتة ضمن الأبنية

يقول «لانس اندرو» [وهو مرجع في
النظم الراديوية لدى المعهد الملكي للتقانة في
ستوكهولم]. «ليس هناك شئ في الطيف
الراديوي، بل نقص في بنية الاتصالات
التحتية التي يمكن تحمل تمويلها» فابراج
الهاتف الخليوي وقنوات الاتصال مع الشبكة
الهاتفية العامة ونظم الفوترة وغيرها، تمثل
العمد الحقيقية الباهظة التكاليف الضرورية

للطيف المستأجر^(٢) ومنذ تسعينات القرن
العشرين، مع تقلص حجم جهاز الهاتف
الخلاوي، من «هاتف حقيية» بحجم الأجرة،
إلى جهاز من الطراز Motorola Star Tac،
ومنه إلى جهاز اليوم المتعدد الوظائف الذي
هو بحجم المحارة، كان بناء وصيانة بنية
تحتية مكرسة هو الطريقة الوحيدة المتبعة.
لكن في بداية عام 2005، عرضت الشركة
Vano Inc. أول محطة قاعدية لنظام
الاتصالات العالمية عن طريق الهاتف الخليوي
GSM، تستخدم الراديو SDR، مع مبدل
راديوي يجعل الإشارة الراديوية قابلة
للمعالجة بواسطة حاسوب مضمحل عالي
الأداء من دون شاشة أو لوحة مفاتيح. قيل 5
سنوات فقط، كان مبدل كود المحطة GSM،
ووحدة تكييف مبدل البيانات، وحدهما
يحتاجان إلى مخدم مستقل خاص بهما
استطاعة تشغيله تصل إلى عدة كيلواط.

Free Spectrum Arounds (١٠)

(١) billing system هو نظام يتابع استخدام الزبون
لخدمات الشبكة ويحجز فاتورته اعتمادا على سعر
الخدمة. وقد اُضح مفهوم هذا النظام ليشمل وظائف
أخرى، من قبيل إدارة الريانز والتكامل مع كوى
الدفع والتحليل الإحصائي لاستخدام الشبكة.
(٢) الطيف الترددي هو ملكية عامة، ولذا تستأجر شركات
الاتصالات الخاصة من الدولة في الكثير من البلدان
(٣) Global System for Mobile communications وهو الموصفة
القياسية للهاتف الخليوي الرقمي الذي اعتمد في
أوروبا بوصفه أمرا واقعا وهو اليوم أهم الموصفات
القياسية الدولية للجيل الثاني من الهاتف الخليوي
التي تتيح خدمة التجوال الدولي (التنوير)

مالتقل عبر الطيف،
سوف يكمل الراديو
الاستعرافي إرساله على
الرغم من التداخل
والعوائق الأخرى، وذلك
بالقفز بين الترددات
حين توفرها.



مرقمة من إشارة التلفزيون التماثلية. تؤخذ من وحدة تبديل راديوي ووحدة التبديل هذه تقوم بتغيير التردد الحامل في الإشارة الراديوية من تردد راديوي عند الهوائي إلى تردد وسيط تستطيع شريحة سبيل نمائوي رقمي تحويله إلى صيغة يمكن معالجتها برمجيا وبذلك يمكن لشبكات التبديل التماثلي الرقمي العالية السرعة أن تستغل منات الميكاهرتز من الطيف الراديوي في أن واحد. وبعض هذه الشبكات مزود بدارات نظم إلكتروميكانيكية ميكروية MEMS microelectromechanical system - وهي أشباه موصلات تستخدم تجهيزات ميكانيكية حجمها من رتبة الميكرون - لتحقيق مكث تماثلي للترددات الراديوية يمكن تغيير سعته رقميا إن بطاقات الترددات الراديوية القائمة على الدارات MEMS نستطيع، عند إنتاجها بكميات كبيرة، التعامل مع عشرات الميكاهرتز من الطيف الراديوي، في أي نقطة بين 30 و 600 هرتز، بنفس ثمن هاتف اليوم الخليوي

لقد كانت تجهيزات الترددات العالية المعتمدة على الدارات MEMS بطيئة في نزولها إلى الأسواق، لأن تكلفتها أعلى من تكلفة مجموعة شبيكات الترددات الراديوية الثابتة الأقل مقدرة لكن قرارا رسميا، أصدرته وكالة الاتصالات الفدرالية FCC

لكن أثناء تلك المدة، أدت التطورات في أشباه الموصلات إلى تخفيض تكلفة المحطة القاعدية لتصبح موقعا خلويا صغيرا يمكن تحمل نفقاته، إذ يمكنها اليوم أن تكون حاسوبا محمولا أو منزليا

تغيرات في الهواء

لقد بدلت ثورة تقانة الإلكترونيات الميكروية (الصغيرة) والحاسوب الحدود الجوهرية لعنديات hardware الراديو أثناء العقد الماضي. مخفضة تكاليف البنية التحتية للنظم الخلوية إلى أقل من 1 في المئة من قيمتها السابقة. لكن تحسّس أثر هذه التحولات في تقانة اللاسلكي المتقدمة وفي سوقها لم يبدأ إلا حاليا فقط

في السنوات الأولى، كان التلفزيون التماثلي (الذي يستخدم عتادا مركزا ونطاقا تردديا عرضه 6 ميكاهرتز) أكبر مستهلك عملي للطيف الراديوي. أما اليوم، فإن التلفزيون الرقمي العالي الدقة ينقل بيانات بمعدلات تكافئ نحو 100 ميغابت في الثانية ضمن نفس النطاق الترددي. من ناحية أخرى، يستطيع حاسوب محمول، يستخدم معالج بنتيوم من الشركة إنتل، توليد صور وأصوات باستخدام برمجيات ونسخة

في عام 2004، مثل نقطة تحول في تفضيل تطوير الراديو الاستعرافي، ووفّر حوافز جديدة للصنعين لاعتماد المنتجات من الدارات MEMS وأوصت تلك الوكالة باستخدام تقانة الراديو الاستعرافي للشبكات الخاصة المنخفضة الاستطاعة ضمن نطاق التلفزيون غير المستخدمة. لقد حرّر هذا القرار أكثر من 100 ميكاهرتز لاستخدامها في منتجات الراديو الاستعرافي الخاصة ببيئات المدن السائدة. إن ظهور الدارات MEMS الراديوية، وقرار وكالة الاتصالات الفدرالية، توحدّا معا للدفع باتجاه تشارك أكبر في الطيف في المستقبل القريب. فبالعمل في النطاقين المنخفض والمتوسط من الطيف الراديوي، يمكن لقناة واحدة أو لقناتين تماثليتين تستخدمان الدارات MEMS الراديوية، تكوين شبكات خاصة قصيرة المدى في أي نطاق ترددي يوافق المستخدمين، المرخص لهم، على استنجاهه أو التشارك فيه أو مقايضته مع آخرين بنطاق ترددي أخرى.

لذا يمكن لطاقة راديو استعرافي مزودة بدارات MEMS راديوية أن تحول من هاتف خلوي إلى شبكة لاسلكية محلية، أو من حاسوب محمول إلى هاتف خلوي، أو من هاتف لاسلكي إلى «برج» لخلية بيكوية. ومن مثل هذه الخلايا البيكوية، يمكن لحاسوب منزلي، موزّد بنظام تحكم راديوي استعرافي، تأجير وقت الهواء إلى عابري السبيل، متقاضيا رسما مقابل نقل لاسلكي آمن للصوت والبيانات عبر مورد خدمة إنترنت مرتبط به.

إعادة تشكيل الشبكة اللاسلكية

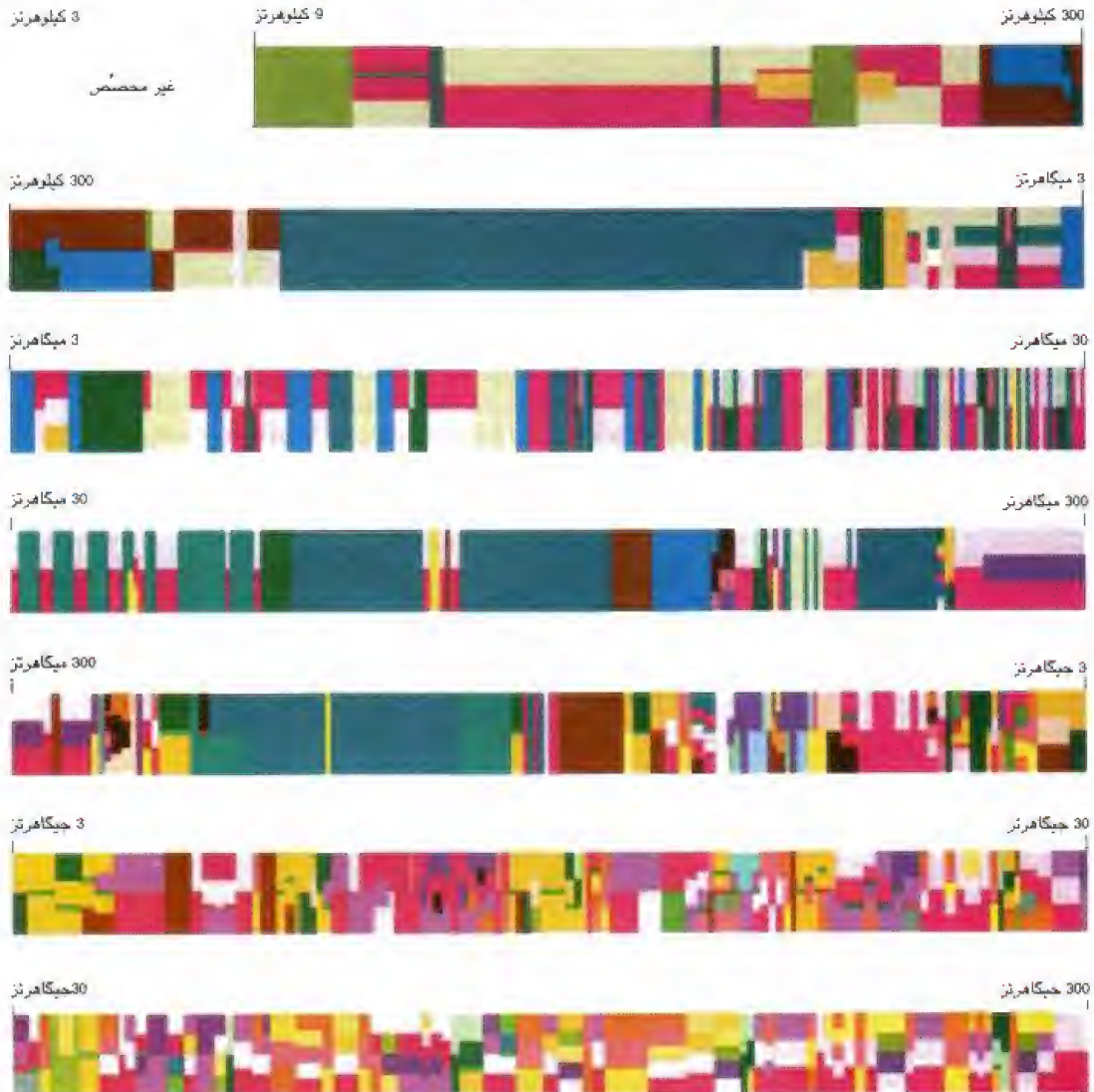
في نظم الهاتف الخلوي التقليدية، يقبع معظم الذكاء، الضروري للتشغيل الفعال، ضمن الشبكة. ومع أن التقانات الخلوية الحديثة تتسم بمقدرة أكبر على المعالجة، فإنها ليست في الواقع أكثر ذكاء بكثير من أسلافها. فالزبائن مازالوا يحتاجون إلى عقد ببرمونه مع مزود خدمة للحصول على

طيف الترددات الراديوية

خدمات راديوية

توزع وكالة الاتصالات الفدرالية حصص الطيف الراديوي في الولايات المتحدة الأمريكية على عدد كبير ومتنوع من المستخدمين والتطبيقات، بحيث يُخصص كل منهم ب نطاق معين يقع بين التردد 9 كيلوهرتز، أي 9000 دورة في الثانية، والتردد 300 جيكاهرتز. وفيما يلي تمثيل مبسط لطيف الترددات الراديوية وتوزعه في الولايات المتحدة

ملاحة راديوية	مساعدات التنقل بالطقس	ثابت	نقل جوي
ملاحة راديوية بوساطة قمر صناعي	التنقل بالطقس بوساطة قمر صناعي	ثابت بوساطة قمر صناعي	نقل جوي بوساطة قمر صناعي
عمليات الفضاء	نقل	مابين الأقمار الصناعية	ملاحة راديوية جوية
إشارات التردد والزمن المعيارين	نقل بوساطة قمر صناعي	نقل أرضي	هواة
إشارة التردد والزمن المعيارين بوساطة قمر صناعي	رصد علمي راديوي	نقل أرضي بوساطة قمر صناعي	هواة بوساطة قمر صناعي
خاص - حصريا - بالاستخدام الحكومي	تحديد الموقع بالأقمار الصناعية	نقل بحري	بث إذاعي
خاص - حصريا - بالاستخدام غير الحكومي	تحديد الموقع راديوي بالأقمار الصناعية	نقل بحري بوساطة قمر صناعي	بث إذاعي بوساطة قمر صناعي
		ملاحة راديوية بحرية	استكشاف الأرض بوساطة قمر صناعي



Radio-Frequency Spectrum (١) أو ساتل (ج سواتل)

(٢) نظام تحديد الموقع بتقاطع مستقيم

(٣) نظام تحديد الموقع من قبيل النظام GPS (التحرير)

معرفة راديوية مكانية⁽¹⁾

حينما يستخدم المستهلك العادي شبكة لاسلكية قائمة على الإلكترونيات التجارية الحالية، يبذل النظام قصارى جهده لاستهلاك أقصى ما يستطيع من الطيف الشحيح، مشوشاً في الوقت نفسه على أجهزة الراديو المجاورة أما الراديو الاستعرافي، فسوف يكون ذكياً بقدر يكفي لإبخال قواعد أي إجراءات تبادلية عملية، في عمليات استخدام الطيف الراديوي. وسوف يكتشف بذكاء الخلايا البيكوية المجاورة، ويتعامل معها لإبقاء المستخدم متصلاً بوساطة الوسائل التي تخدم على أفضل وجه حاجاته التي يمكن أن تختلف باختلاف الأوقات والظروف.

لتحقيق هذه المهام، يحتاج الراديو الاستعرافي إلى عدة أمور. أولاً، عليه أن «يعرف» كيف تتغير الاستطاعة الراديوية التي يبثها مع المسافة على الأرض، وبين العوائق. وفي الهواء فوق الأرض. إن الهوائيات الخلوية لا تحتاج إلى هذه المعلومات. لأن الشبكة الثابتة تستخدم طيفاً راديوياً مكرساً جرت معاييرته سلفاً وفقاً لأنماط إشعاع الطاقة الموجودة. أما الراديو الاستعرافي، فيتحمس بدلاً من ذلك كامل البيئة الراديوية المحلية، في النطاق الترددية المنخفضة والمتوسطة والعالية، واضعاً مخططاً لتغير خصائصها بدلالة الزمن والمكان والتردد. إن تطوير الراديو الاستعرافي الذي يتحسس الطيف سوف يتطلب تصميم محسّنات عالية الجودة، وخوارزميات عملية. بهدف تبادل بيانات رصد الطيف بين عقد الاتصالات المتعاونة. أما النظم التي تتميز بأحوتها على إمكانات تعدد المداخل وتعدد المخرجات⁽²⁾ فسوف توجه الإرسالات في مسارات متعددة معقدة - مستفيدة من انعكاسات الإشارة عن أشياء مختلفة كالمباني والآليات - وتستبعد الإرسالات المتداخلة

لاستئجار أو استعارة شبكة محلية لاسلكية، أو طيف راديوي آخر، بسرعة، مدة ثوانٍ أو دقائق في المرة الواحدة، مقابل «نقد طيف راديوي»، أي مقابل وعد مقطوع بإقراض قدرات الخلية البيكوية الخاصة بالراديو الاستعرافي إلى راديو استعرافي آخر في المستقبل. ومن نقاط النفاذ اللاسلكي هذه إلى الإنترنت. يمكن لمزود خدمة الإنترنت نقل بيانات المستخدم أو مكالمته إلى أي شخص في أي مكان في العالم. إن المرء يستطيع أن يرى هنا أن الراديو الاستعرافي لا يحتاج إلى شبكة خلوية مكرسة كي يصل مستخدماً بوساطة اللاسلكي والإنترنت بتجهيزات أخرى يضاف إلى ذلك أنه مع توسع تفاعلات الراديو الاستعرافي مع الإنترنت اللاسلكية. تتلاشى الحاجة إلى عقد طويل الأجل مع مزود خدمة خلوية

النفاذ إلى الشبكة، ومنها إلى الشبكة الهايضية العامة وعلى النقيض من ذلك. تضع ثقافة الراديو الاستعرافي الذكاء الضروري للاتصال مع الشبكات اللاسلكية ضمن جهاز الراديو أو الحاسوب المحمول أو المذكرة الشخصية اللاسلكية ولأن نظام التحكم الاستعرافي يحكم قدرات الراديو المعرف برمجياً، فإنه يمكن للجهاز كشف فرص التشبيك الراديوي حيثما وجدت.

وفي الوقت الحالي، تحتوي 90 في المئة من الحواسيب المحمولة الجديدة على إمكانات الشبكة المحلية اللاسلكية والشبكات المحلية اللاسلكية المنزلية والمهنية وما يتصل بها من مستجدات ساخنة، تتكاثر على نحو آسي. وسوف يحوي الراديو الاستعرافي الذكاء العملياتي الضروري

جميع قنوات الاتصالات، جميع الأوقات⁽³⁾

يمكن ضمان اتصالات مسرح المعركة، وهي مفتاح للنصر في الحرب الحديثة، باستخدام ثقافة الراديو الاستعرافي. ففي حين أن مختلف القوى ونظم الأسلحة تستخدم اليوم نظماً راديوية قد تكون غير متوافقة، فإن ثقافة الجيل القادم من الراديو الذكي يمكن أن تساعد القادة العسكريين على البقاء، على صلة بأخر مستجدات الموقف في منطقة القتال. بوساطة وصلات في الزمن الحقيقي للصوت والصورة والبيانات تصل جميع القوى الصديقة معاً على نحو موثوق، على الرغم من التداخل الناجم عن الضباب أو الحرب. ويمكن لنظم الراديو العسكرية المستقبلية استخدام ثقافة الراديو الاستعرافي لإبقاء هذه الاتصالات الحاسمة حية.



(1) All Communications Links, All the Time
(2) Spatial Radio Knowledge

(3) multiple-input/multiple-output وهي تقنيات إرسال واستقبال حديثة يستفاد فيها من تعدد نواحي الإشارة ذاتها، التي تصل إلى المستقبل عبر مسارات مختلفة، لزيادة نسبة الإشارة المستقبلية إلى الضجيج (التصريح)

مستقبل الراديو الذكي

الطيف القليل الاستخدام إلى وسط اتصال عريض النطاق لكثير من المستخدمين وإذا استمر مشروع وكالة الاتصالات الفدرالية في المسار الحالي، فإنهم سوف يحولون نطق الطيف العريضة الوحيدة الاستخدام، إلى مئات من النطق، التي عرض كل منها من رتبة الميكا هرتز. والمتاحة للاستخدام التشاركي. إن شح الطيف الراديوي الذي ساد مدة طويلة، قد يحل محله فيض من الترددات المتاحة. وعوضا عن أن يحتاج هاتف خلوي إلى دقيقة لتحميل صورة مضغوطة حجمها من رتبة الميكا بيسل^(١)، قد يستطيع أن يتعامل مع عشر صور من هذا القبيل في الثانية.

وتصا كما قاد انبثاق تقنية الهاتف الخلوي إلى نتائج اجتماعية ومهنية كثيرة، فإن اعتماد الراديو الاستعرافي سوف يبعث على تغيرات مشابهة، ترافق استغلال التجهيزات المتقدمة للشبكة اللاسلكية لتحل محل الهواتف الخلوية التي أصبحت الآن قديمة إلى حد ما. إن نمو الراديو الاستعرافي سوف يستغرق وقتا، لكن تأثيره في حياتنا جميعا سوف يكون كبيرا.

(١) The Future of Smart Radio

(١) الشبكة Semantic Web هي مشروع يهدف إلى إعطاء محتوى الوثائق في شبكة الإنترنت معنى مقبولا للآلة، بغية الاستعاضة بالآلة عن الإنسان في البحث عن المعلومات
(٢) pixel، أي عنصر صورة (عنصورة). ويمثل بنقطة واحدة منها

بعد تحديد أنماط تغير الطاقة في كل نطاق، سوف تكون تجهيزات الراديو الاستعرافي قادرة على استخدام التقنية [أنظر: «النوب الدلالي»، **العدد ١٢/١١** (2002)، ص 56] بغية تبادل تلك المعلومات مجانا مع الآخرين فتلك المعلومات تساعد على استئصال عملية بحث كل وحدة عن طيف قليل الاستخدام يمكن استنجاؤه وبهذا يمكن للراديو الاستعرافي تجنب التشويش على المستخدمين الآخرين. مع الإبقاء على بث استطاعة كافية لتجاوز التداخل المحيطي وتحقيق التعاون الخلاق. إن القرارات التي تحكم مستقبل تقنية الراديو الاستعرافي هي قيد التطور حاليا، من خلال الصراع القائم بين قطاعي أعمال عملاقين: صناعة الهاتف الخلوي والاتصالات من ناحية، و «صناعة الإنترنت» من الناحية الأخرى ممثلة بالشركات Microsoft و Intel و Google ومزودي خدمة الإنترنت وشركات الحاسوب الاستهلاكي. ومع أن المصالح الذاتية الراسخة قد تقاوم تقنية الراديو الاستعرافي، فإن التقدم باتجاهها يبدو ممكنا، لأنها تتجنب الفوضى وعدم المرونة النسيبيين في استخدام النطق الراديوية غير المنظمة (من قبيل تلك المستخدمة في تجهيزات القياس والتجهيزات العلمية والطبية). وفي نهاية المطاف، سوف تحل قواعد التشغيل الذكية القائمة على تقنية الراديو الاستعرافي جيكا هرتز من

المحملة من أجهزة راديوية أخرى إن نظام الراديو الاستعرافي الكامل الوظائف سوف يكون ذكيا بقدر يكفي لتحسس «المشهد» الراديوي المحلي، ومن ثم اختيار النطاق الترددي ونمط العمل، والخدمة التي يحتاج إليها، إضافة إلى تحميل بيانات الراديو SDR ذات الصلة بالنطاق والنمط المختارين: ويوجه بعدئذ طاقة الإرسال نحو المستقبل المقصود محققا في الوقت نفسه تداخلا أصغريا مع الأجهزة الأخرى. ومنها الاستعرافية، وبذلك يبدي مستوى عاليا من التنسيق الترددي الذي يحقق للمستخدم خصوصية الاتصال وأمنه.

ويمكن تحسين دقة هذه العمليات ببناء نماذج حاسوبية ثلاثية الأبعاد لكامل المشهد المحلي للمدينة تُخزن على أقراص صلبة سعتها من رتبة الجيكا بايت، ويمكن النفاذ إليها لاسلكيا حسب الحاجة. إن التنبؤات بشدة الإشارة المستقبلية اعتمادا على هذه النماذج سوف تتبع لنظم الراديو الاستعرافي تجنب معظم التداخل ويتوافر قنوات بث متفق عليها - تستطيع أجهزة الراديو الاستعرافي استخدامها في «الشكوى» من التداخل من دون التشويش على سواها - يمكن إغلاق حلقة القواعد الراديوية

لكن ما يعقد فكرة قواعد الراديو الاستعرافي هو تغير التداخل الإجمالي، التاجم عن البيئة، مع الزمن. إن ذلك التداخل يتضمن الضجيج الكهربائي الطبيعي (البرق)، وضجيج مولدات الطاقة الكهربائية، والمحركات الكهربائية، ونظم الإشعاع في محركات السيارات، إضافة إلى إرسالات الأجهزة الراديوية. إن أثر هذه المصادر (المنابع) الراديوية يتغير مع الزمن. ففي الليل، مثلا، يكون عدد المصادر العاملة صغيرا، ولذا تولد محركاتها الكهربائية ضجيجا قليلا أما في وقت الزحام، فيصبح ذلك الضجيج قويا. إن الطاقة الكلية التي تشعها تلك المصادر تكون اعظمية في مراكز المدن، وعند الساعة 10 صباحا تقريبا، وتكون فعاليتها أقل في المناطق الريفية، وفي الليل. ومع أن التعقيد الإحصائي لأثار مجمل هذه المصادر يجعل التنبؤ بها صعبا، فإن الراديو الاستعرافي سوف يتعلم أنماطها في المواقع المهمة (كمكان العمل والبيت) لمستخدمين معروفين.

المؤلف

Steven Ashley

عضو هيئة تحرير مجلة ساينتفك أمريكان

مراجع للاستزادة

Cognitive Radio Shows Great Promise. Bruce Fette in *COTS Journal*, October 2004.
www.cotsjournalonline.com/home/article.php?id=100206
Berkeley Wireless Research Center Cognitive Radio Workshop, November 1, 2004.
bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/MCMA/
Cognitive Radio Architecture. Joseph Mitola III. John Wiley & Sons, April 2005.
European Community's End-to-End Reconfigurability [E2R] radio project:
phase2.e2r.motlabs.com
Joseph Mitola's Web site is at the KTH (Royal Institute of Technology, Sweden):
www.it.kth.se/~jmitola
Software Defined Radio Forum: www.sdrforum.org

Scientific American, March 2006

أهداف جديدة محددة للأدوية^(١)

هناك صنف مألوف من مُستَقْبَلات سطح الخلية^(٢) يفضي إلى عرض منظومة من الاستهدافات الحديثة التي يمكن أن تفسح المجال أمام معالجات جديدة لاضطرابات تراوح من عدوى فيروس العوز المناعي البشري^(٣) حتى السمّة^(٤).

< كيناكين >



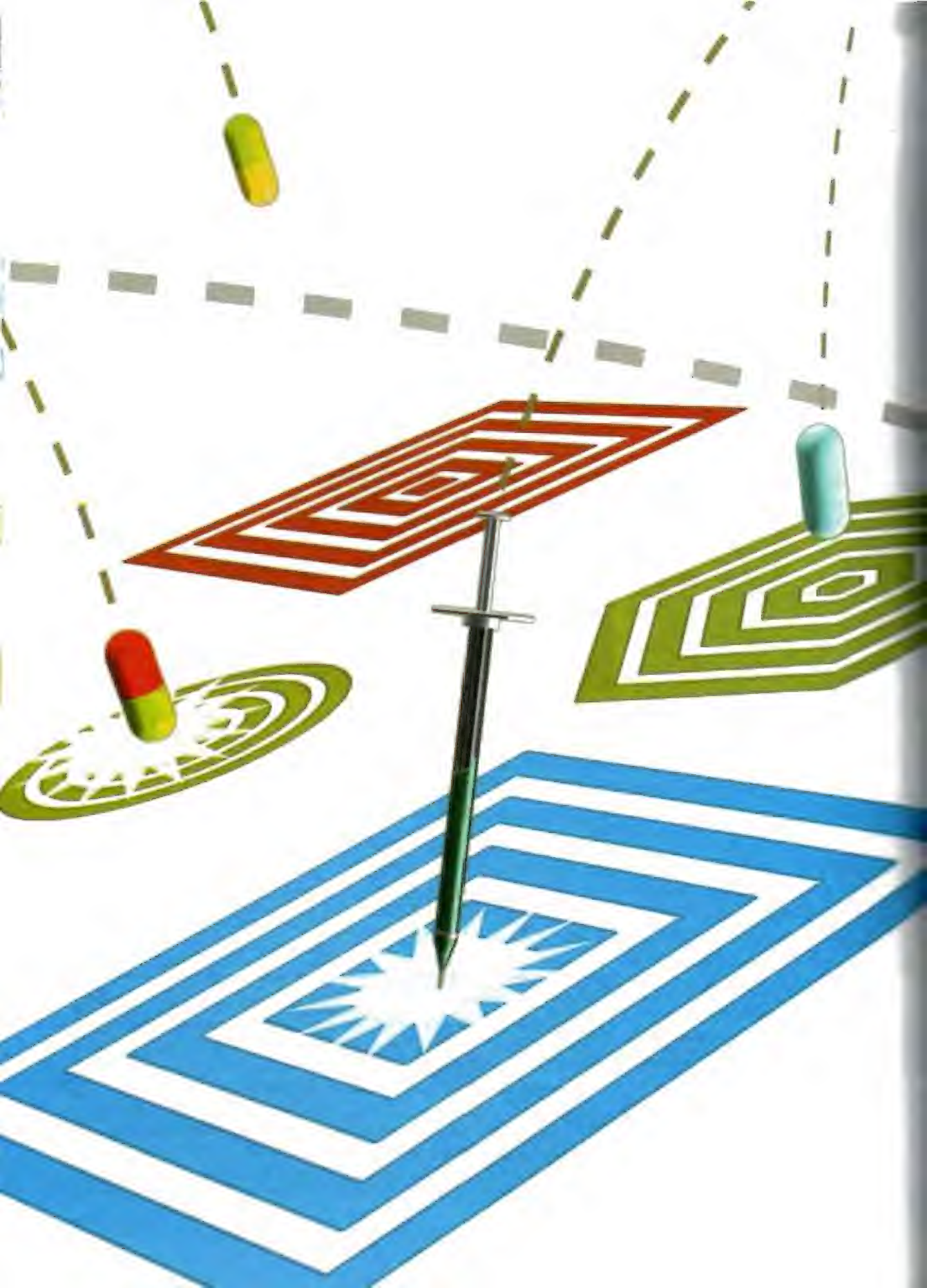
أكثر من أي صنف آخر من مُستَقْبَلات سطح الخلية. وفي هذا الإطار، يراوح حجم الجزيئات الطبيعية التي ترتبط بالمُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G، من حجم النواقل العصبية neurotransmitters (التي تعد كتلتها أكبر بعدد قليل من المرات من كتلة ذرة كربون مفردة) حتى الهرمونات (التي تعد أكبر بـ 75 مرة من ذلك) إضافة إلى ذلك. تُسهم المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G في جميع وظائف الجسم التي تدبم الحياة، من ضربات القلب والهضم إلى التنفس والنشاط الدماغي. وتعد الأدوية التي تستهدف هذه المُستَقْبَلات متنوعة بمقدار تنوعها. وتشمل القائمة خافضات ضغط الدم (مثل البروبرانولول propranolol) ومضادات حموضة المعدة (مثل الرانيتيدين ranitidine) وموسعات القصبات (مثل البوتيرول

يتميز جزء لا يستهان به (تقريباً النصف) من الأدوية الموصوفة اليوم بتشابه مذهل على المستوى الجزيئي. وتؤثر هذه الأدوية في النمط نفسه للهدف target: بروتين مُتَطَوِّ serpent protein يتموج سبع مرات عبر الغشاء الذي يغلف الخلية. الأجزاء الخارجية لكل مُتَطَوِّية (حية) serpent نخدم كقرن استشعار antenna للإشارات signals الجزيئية التي تقترب من الخلية، في حين تطلق الأجزاء الداخلية زناد الاستجابات لمثل هذه الإشارات. حيث تكون البداية تنشيط مُعالج الإشارة signal processor الذي يدعى البروتين G وهكذا تُعرف التطويرات هي نفسها بأنها المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) G-protein coupled receptors.

تبدي المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs)، كمجموعة بحد ذاتها، إمكانية للاستعمال المتعدد الجوانب

(١) cell-surface receptors
(٣) obesity

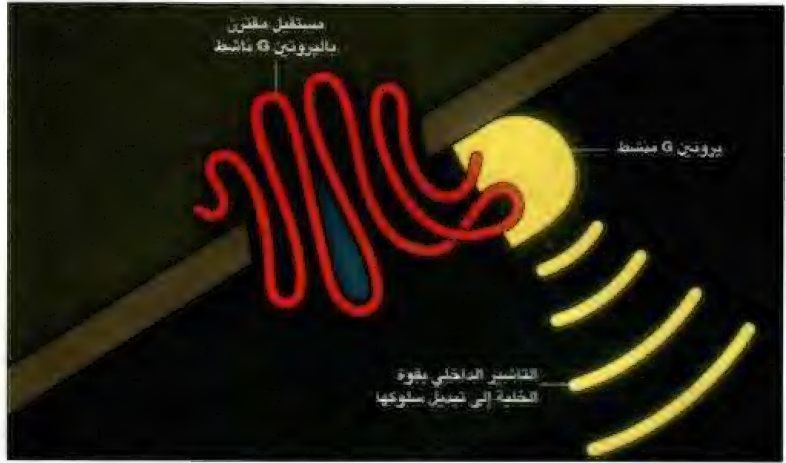
NEW BULL'S EYES FOR DRUGS (٢)
HIV infection (٣)



المستقبل المقترن بالبروتين G (GPCR)، الذي يتطوّر عبر غشاء الخلية سبع مرات، لا يصدر أية رسائل إلى داخل الخلية (الصورة العليا) حتى يرتبط جزيء مُؤشِّر (signaling)، مثل هرمون أو أي ناقل عصبي، بمنطقة تسمى المقر الناشط (الموضع الفعال). ويسبب هذا الارتباط (الصورة السفلى) بالمستقبل تنشيط (تفعيل) جزيء معين يسمى البروتين G، الذي يطلق بدوره سلسلة من التآثرات داخل الخلية intracellular interactions مما يؤدي في النهاية إلى إحداث تبدل في سلوك الخلية. وثمة تصورات جديدة للعمل الوظيفي للمستقبلات المقترنة بالبروتين G توحى بظهور وسائل وسبل جديدة لمعالجة المرض.



تتدخل في مقدرة المؤشِّر "signaler" على التأثير في قرن الاستشعار. خلال الخمسة عشر عاما الماضية، ثمة ثورة تقانية زويت الباحثين يعيرون جديدة يستطيعون أن يروا من خلالها المستقبلات المقترنة بالبروتين G أثناء العمل الوظيفي. وتبعاً لذلك، برزّت طرق أخرى من مقابلة manipulating أنشطة المستقبلات المقترنة بالبروتين G. وقد بدأ استثمار هذه الطرق بهدف استكشاف الدواء. وبكلمات أخرى، رغم وفرة الأدوية المعروفة سابقاً بتأثيرها في هذه المستقبلات الساحرة، ثمة عدد كبير منها قد يكون كامناً. وإن البحث عن مثل هذه الأدوية مازال في المراحل المبكرة. لكن هناك عوامل (أدوية) agents، هي الآن في طور متقدم في التجارب البشرية منها تلك الخاصة بالإصابة بعدوى الفيروس HIV المسبب لتلازمة العوز المناعي المكتسب (AIDS).



للشكل أهمية^(*)

حتى قبل نحو 10 سنوات، اعتقد الباحثون عن الأدوية أنه بغية التأثير في نشاط المستقبلات المقترنة بالبروتين G كان يجب البحث عن الأدوية التي تؤثر في المقر الناشط للمستقبل. فإثناء العمل الطبيعي للجسم، ثمة ناقل عصبي أو أي جزيء آخر حامل للمعلومات (أو «لجين ligand» جزيء، يلتحم بجزيء آخر) على السطح الخارجي للخلية يقوم على نحو أساسي بدور «المفتاح» key «لقفل» lock المقر الناشط. وهكذا فإن المادة التي تحجب القفل lock يمكن أن تمنع

المستهدفة للمستقبلات المقترنة بالبروتين G وفق إحدى طريقتين - فهي إما أن ترتبط بمنطقة قرن استشعار للمستقبل (يُعرف أيضاً باسم المقر الناشط^(*)) وتحاكي بذلك تأثير الناقل العصبي الطبيعي، أو الهرمون أو أي جزيء آخر يعطي على نحو طبيعي إشارات عبر المستقبلات المقترنة بالبروتين G، أو أنها ومضادات الاكتئاب (مثل albuterol) والباروكسيتين (paroxetine). وتشمل الاضطرابات التي تعالجها هذه الأدوية ارتفاع ضغط الدم وقصور القلب الاحتقاني والفرحة والربو والقلق والتحسس (الأرج) والسرطان والشقيقة وداء باركنسون. وعلى نحو لا يصدق، تعمل جميع الأدوية

نظرة إجمالية/ أهداف دوائية جديدة^(*)

- تنقل البروتينات التي تسمى المستقبلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) والتي تتوضع على سطح الخلية، إشارات من هرمونات معينة ومشابهاها إلى داخل الخلية من خلال تنشيط (تفعيل) البروتينات G؛ التي هي مُعالجات للإشارة تقع تحت غشاء الخلية مباشرة.
- إن قرابة نصف الأدوية الموجودة في السوق التجارية تؤثر في المستقبلات المقترنة بالبروتين G، بالارتباط بالمقرات sites المستهدفة بشكل طبيعي من قبل المؤشرات signalers البروتينية (الخارج خلوية) والخاصة بالجسم.
- خلال السنوات العشر الماضية، توصل الباحثون إلى أن نشاط المستقبلات المقترنة بالبروتين G يمكن أن يُحوّر بواسطة مركبات ترتبط بمقرات أخرى في بنية تلك المستقبلات المقترنة بالبروتين G. وقد فتح هذا الاكتشاف إمكانيات جديدة لمعالجة السرطان واضطرابات رئيسية أخرى.

(*) Overview/New Drug Targets

(**) Shape Matters

(*) active site، أو الموضع الفعال

(†) جزيء يعطي إشارات

الأدوية المُسوّقة تجارياً والتي تعمل على المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G

تعد الأدوية المذكورة أدناه عينة فقط من المركبات المسوقة تجارياً والتي تستهدف المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G، إنها تعمل على مُستَقْبَلات متنوعة.

الاسم التجاري (الاسم الجنيّس) والشركة الصانعة	التأثير
Allegra (fexofenadine) Aventis	يُحصر فعل الهيستامين، من أجل مكافحة الاستجابات التحسسية (الأنحبة)
Duragesic (fentanyl) Janssen	يُفرّج الألم
Flomax (tamsulosin) Boehringer Ingelheim	يخفف أعراض البروستاتة المتضخمة
Imitrex (sumatriptan) GlaxoSmithKline	يخفف ألم الشقيقة (الصداع النصفي)
Lopressor (metoprolol) Novartis	يخفف الضغط الدموي
Oxycontin (oxycodone) Purdue	يُفرّج الألم
Pepcid (famotidine) Merck	يُضام حموضة المعدة
Phenergan (promethazine) Wyeth	يُخمد الهيستامين
Serevent (salmeterol) GlaxoSmithKline	يُفتح المسالك الهوائية
Singular (montelukast) Merck	يكافح التهاب المسالك الهوائية
Sudafed (pseudoephedrine) Pfizer	يخفف احتقان الأنف
Zantac (ranitidine) GlaxoSmithKline	يُضام حموضة المعدة
Zyrtec (cetirizine) Pfizer	يُحصر الهيستامين
Zyprexa (olanzapine) Eli Lilly	يخفف أعراض الذهان المتعددة

القادرة على إحضار block فيروس العوز المناعي البشري ومنعه من إعداء (إضماج) infecting الخلايا. لقد عرف البيولوجيون قبل أمد طويل أن الفيروس يهاجم الخلايا التي تسمى الخلايا التائية المساعدة helper T lymphocytes من خلال الانصاف بروتين يوجد على سطح الخلية يسمى CD4. لكن هؤلاء الباحثين توصلوا في التسعينات إلى أن هذا البروتين لم يكن يعمل بمفرده.

فبغية دخول الخلايا، يجب على الفيروس أيضاً أن يرتبط بمُثَبِّت anchor إضافي مُستَقْبَل مقترن بالبروتين G يُعرف باسم CCR5 (أو في مرحلة العدوى infection المتأخرة، ثمة مُستَقْبَل مقترن بالبروتين G يدعى CXCR4). وعادة ما يستجيب المُستَقْبَل CCR5 إلى أي من المنشطات الكيميائية (الكيموكينات) chemokines الثلاثة، التي هي إشارات طبيعية تستطيع جذب خلايا الجهاز المناعي إلى مقر العدوى. ولكنه لسوء الحظ، يقدم أيضاً صئارة hook لبروتين غلاف الفيروس

Marked Drugs Acting on GPCRs (١٠)

(١) وجود مُثَبِّطات عديدة لأحد البروتينات، أو لأي ركيزة substrate يؤدي التفاعل مع أحدها إلى تعديل فعالية البروتين أو وظيفته (التحرير)

conformations، فعندما يرتبط أي جزيء، مؤثّر بالمقر الناشط، فإنه يثبت التراتبية التي تفعل البروتينات G. ولكن ظهر أن بعض الجزيئات، المعروفة بالمُحَوِّرات المتفارقة allosteric modulators، تستطيع أن ترتبط في مكان آخر فتؤثر في الشكل form والنشاط activity. يثبت البعض منها (الجزيئات) أشكال المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G التي تعزز التشعير signaling، في حين تقوم جزيئات أخرى بتثبيت الأشكال التي تعوق التشعير (على سبيل المثال يمكن أن يتحقق ذلك من خلال طمر المقر الناشط، بحيث يتعذر على لجنيته ligand الطبيعي الوصول إليه).

تُعد نتائج implications هذا الأمر عميقة فالمُستَقْبَل الكامل يستطيع نظرياً أن يقدم مواضع ارتباط، بحيث يمكن لجزيء شديد الصغر أن يثبت شكلاً معيناً يمكنه أن يعطي تأثيراً بيولوجياً وهذه الخاصية توسع على نحو كبير أفق التعديلات العلاجية therapeutic modification لوظيفة المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G.

يُعد الباحثون في مُنَازَمة العوز المناعي المكتسب (الإيدز) من بين أولئك الذين يتابعون على نحو فعال المدى المحتمل للمحورّات المتفارقة، إذ يحاولون إيجاد تلك المحورّات

مرور أية إشارات (إيعازات) غير مرغوبة عبر المُستَقْبَل بواسطة أي مفتاح كان، فتقوم هذه المادة بدور مثبط inhibitor وعلى العكس، فإن الشيء الذي يحاكي اللجين الطبيعي natural ligand يمكن أن يفتح القفل، ومن ثم أن يأخذ مكان المفتاح الطبيعي إذا كان هذا المفتاح غير موجود.

وهكذا اعتقد العلماء أن الطريقة الأفضل لإثارة استجابة فيزيولوجية هي في اختيار مركب يتأثر interaction مع شكل نوعي specific form لأي مُستَقْبَل ولكنه يتجاهل المتغيرات variants الأخرى [الأشكال الأخرى لهذا المُستَقْبَل] مثلاً، يتشظ الناقل العصبي «النورإيفدرين» تعطين من المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G التي تسمى المُستَقْبَلات الأدرينالية adrenoceptors ألفا وبيتا، حيث يكون للأولى أربعة مُثَبِّطات subtypes وللثانية ثلاثة، وبدورها تقوم هذه المُستَقْبَلات المتنوعة بالسيطرة على العديد من العمليات الداعمة للحياة ففي مستوى القلب، تسرع المُستَقْبَلات الأدرينالية بيتا معدل سرعة القلب وتزيد قوة كل ضربة beat. وفي مستوى الرئتين، توسع المُستَقْبَلات بيتا المسالك الهوائية ولهذا، بغية فتح المسالك الهوائية من دون أية تأثيرات غير مرغوبة في القلب، يمكن لصانعي الأدوية أن يبحثوا عن عامل (دواء) يحاكي مقدرة النورإيفدرين norepinephrine بتنبيه المُستَقْبَلات الأدرينالية بيتا. لكن من دون الارتباط بالمُستَقْبَلات الأدرينالية بيتا، فعليا، يعمل العديد من الأدوية مثبطات أو ناهضات agonists (محاكيات mimics) عن خلال التأثير مع المقر الناشط لأحد المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G النوعية. لذا فإن أي استراتيجية خاصة لتطوير الدواء سوف يجب عليها أن تتعامل مع الطبيعة «المتفارقة» allosteric nature للمُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G. إن شكل shape أحد أقسام المُستَقْبَل يمكن أن يؤثر في الهيئة الجزيئية (البنية الفراغية) conformation، ومن ثم في نشاط قسم آخر بعيد عنه.

بأسنمرار تتخذ المُستَقْبَلات المقترنة بالبروتين G أشكالاً مختلفة نوعاً ما، مشكلة ما يطلق عليه مكتبة الهيئات library of

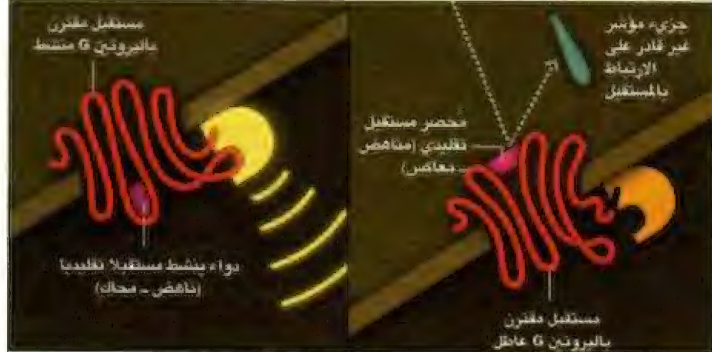
المحوريات المتفارقة



هذه العوامل تُرسخ هيئة conformation كل مستقبل ملق بالبروتين G (GPCR) بطريقة تعزز (غير ظاهرة) أو تنقص (أعلى) نشاط المستقبل، وذلك بجعل المقر الناشط غير متاح لحزب الأنتيسر signaling molecule.

تستهدف معظم الأدوية المتوافرة في الأسواق التجارية المقر الناشط لبعض مستقبلات سطح الخلية، والعديد من هذه الأدوية يستهدف المقر الناشط مستقبل فكتير بالبروتين G نوعي (إي/الأسفل). وكذلك فإن الجزيئات *molecules* الغالبة في المناطق خارج المقر الناشط تستطيع أيضا أن تؤثر في نشاط المستقبل المقترن بالبروتين G (إي/اليسار). وقد دراست حديثة عززت الأمل بأن الجزيئات الصغيرة التي تستهدف تلك الفجرات الإضافية يمكن إعطاؤها بغية تثبيط أو تهدئة المستقبلات المقترنة بالبروتين G المكتفة في أمراض متنوعة.

الأدوية المعيارية



الأدوية التي تؤثر في المستقبلات المقترنة بالبروتين G تتناسب حالياً في أغلب الأحيان مع المخرجات الناتجة فيها إما أن تحاكي تأثير الجزيء المؤثر الطبيعي (في البسار) أو تمنع المؤثر الفطري native signal من الارتصاف مع المستقبل ومن ثم من التأثير في الخلية (في البسار).

ما وراء ضبط الشدة¹³⁹¹

تعتمد التأثيرات التي تنتجها المُستقبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) ليس فقط على الجزيئات الخارجية التي ترتبط بها، بل أيضا على عدد نسخ *copies* المُستقبِلات السهلة المثال على سطح الخلية وبقدر ما هو متوقع. عندما ترتبط المؤشرات من خارج الخلية بالعديد من نسخ أي مُستقبِل، تتلقى الخلية عندئذ رسالة «شدة»، وتخضع إلى تبدل أكبر في سلوكها مما هي الحال عندما يكون عدد قليل من نسخ هذا المُستقبِل مرتبطا لكن عدد المُستقبِلات يمكن أن يفعل أكثر مما هو متعلق بضبط الارتفاع أو الشدة. إنه يستطيع فعلا أن يؤثر في أي من أنواع البروتينات G العديدة الذي يصبح مُفْهِما، ومن ثم يمكنه تنشيط المسالك البعيدة (سلسلة التفاعلات الجزيئية cascade of molecular interactions) داخل الخلية.

توجد البروتينات G في أربعة أصناف

(gp120) ففي الواقع، يبدو حالياً أن استئصال CCR5 هو لاعب مركزي في الإصابة بعدوى فيروس العوز المناعي البشري؛ فالأشخاص الذين تفتقر بنيتهم الوراثية إلى الشكل الوظيفي لهذا المستقبل ينزعون ليكونوا مقاومين بشكل غير اعتيادي لفيروس العوز المناعي البشري وهناك محورات متفرغة عديدة تمتلك المستقبل CCR5، إلا أنه شكل غير ملائم للارتباط بالبروتين gp120 الخاص بفيروس العوز المناعي البشري، وقد بلغت هذه المحورات مرحلة التجارب البشرية إن إحصار تأثير المعقد gp120-CCR5 بإعطاء هذه الأدوية البالغة الصغر يُعد إنجازاً مشابهاً، في المضاهاة الجيوفيزيائية، إلى جزيرة بحجم جزيرة فيجي Fiji تمنع التقاء جزيرتين بحجم أستراليا معاً، وبمعنى مجازي أكثر، إذا كانت مثل هذه الأدوية بحالة العمل فإنها ستكون بمثابة «ديفيد» الذي يتغلب على العملاق Goliath

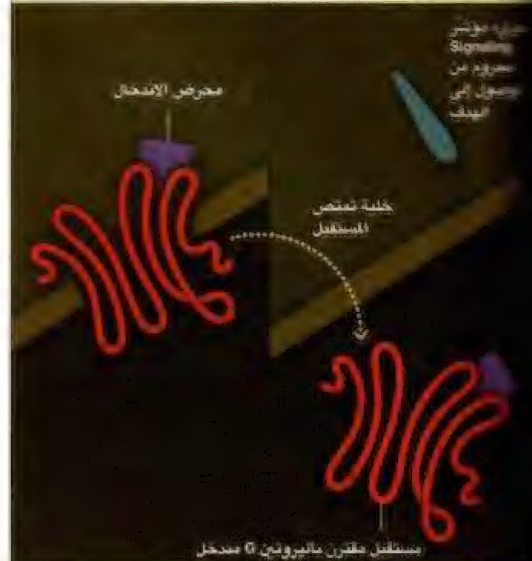
ورئيسية، مع وجود مُنبِطات في كل صنف ولكل منها نِزعة مختلفة للعمل مع أي مُسْتَقْبِل مُقترن بالبروتين G_i معين. ومن جهته فإن أي مُسْتَقْبِل مُقترن بالبروتين G قد لا يكون ناشطاً على نحو متعادل تجاه جميع البروتينات G_i. وهكذا فإن محتوى قليلاً لِمُسْتَقْبِل معين سيؤدي إلى تنشيط البروتين G الأكثر حساسية له فقط، في حين يؤدي توافر أكبر لهذا المُسْتَقْبِل إلى استجابات من العديد من البروتينات G_i. وهذا قد يثير سلوكاً خلوياً مختلفاً

وتبعاً لذلك، لن يُرى أي مستقبل مقترن بالبروتين G مُعيّن على أنه فقط مفتاح وصلة مفصليّة toggle switch قد وُضع قيد العمل بتأثير أي هرمون أو أي ناقل عصبي وأوقف عن العمل عندما تفصل الإشارة الطبيعية عن مقر ارتباطه، فهو وحدة معالجة معلومات مُعدّة

تظرياً، يمكن أن يتولد تنوع في طرز استجابات أي مستقبل مقرون بالبروتين G

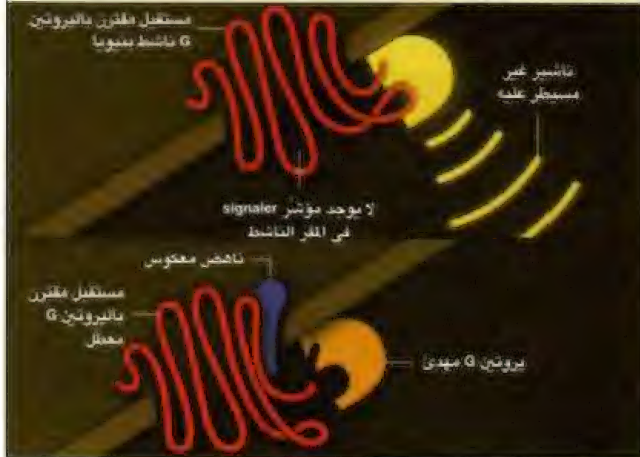
Many Avenues of Attack I •
Beyond Volume Control I++

حُرُضَاتِ الْإِنْدِخَالِ



تُجْعَلُ حُرُضَاتِ الْإِنْدِخَالِ الْمُسْتَقْبِلَاتِ تَغَايِرَ (تُتْرَكُ) سَطْحَ الْخَلِيَّةِ. فَإِنَّهَا تَحْصُرُ تَوَلِيدَ الْإِشَارَةِ signal delivery فِي دَاخِلِ الْخَلِيَّةِ.

نَاهَضَاتُ مَعْكَوسَةٍ



تَسْتَدِرُّ (تَصَوِّبُ) النَّاهَضَاتُ الْمَعْكَوسَةُ (سِلَاحُهَا) نَحْوَ الْمُسْتَقْبِلَاتِ الْمُقْتَرَنَةِ بِالْپَرُوتِينِ G ذَاتِ الْتَنَبُّاطِ الثَّابِتِ، وَتَمُسِّكُ مِثْلَ هَذِهِ الْمُسْتَقْبِلَاتِ سُلُوكًا غَيْرَ مَلَائِمٍ كَمَا لَوْ كَانَتْ مَرْتَبِعَةً بَاحْدَ الْمُنْتَبِهَاتِ حَتَّى لَوْ لَمْ تَكُنْ كَذَلِكَ (فِي الْأَعْلَى). إِنْ أَرْتَابَطَ النَّاهِضُ الْمَعْكَوسُ بِهَيْئِ التَّأْثِيرِ signaling (فِي الْأَسْفَلِ)، تَعْتَلِّكُ الْخَلَايَا السَّرْعَانِيَّةُ غَالِبًا أَعْدَادًا كَبِيرَةً مِنَ الْمُسْتَقْبِلَاتِ النَّاهِضَةِ بِنَهْوِيَا الَّتِي يُمْكِنُ لَهَا نَظَرِيًّا دَعْمُ انْتِقَاسِ الْخَلِيَّةِ غَيْرِ الْمُسَيَّطَرِّ عَلَيْهِ. وَلِهَذَا، يُمْكِنُ لِلنَّاهِضَاتِ الْمَعْكَوسَةِ أَنْ تُصَبِّحَ عَلَى نَحْوِ كَامُنٍ شَكْلًا جَدِيدًا لِمُعَالَجَةِ السَّرْطَانِ.

اعتمادا على كل من مجال اللجائن ligands الذي يستطيع اكتشافه وعلى مزيج أنواع البروتين G الذي يستطيع تنشيطه على سبيل المثال، إذا استطاع أي مستقبل أن يكتشف أيا من الإشارات الثلاث المختلفة واستطاع أن ينشط واحدا أو اثنين أو ثلاثة أو جميع البروتينات G الرئيسية الأربعة (كما هي حالة المستقبل المقترن بالبروتين G الذي يستجيب للثيروترابين thyrotropin هرمون الغدة النخامية pituitary الذي ينبه الغدة الدرقية)، فإن المستقبل يكتسب المقدرة (السعة) capacity النظرية على إظهار عشرات من أشكال السلوك. في كل مرة: في حين أنه لو كان [المستقبل] يرى على أنه مفتاح وصلّة مفصلية، فلن يكون له إلا وظيفتان فقط

وتوضح الأبحاث أيضا أن الأدوية تستطيع الاستفادة من هذا التعقيد في وظيفة المستقبل. فبممكن لمواد معينة أن تمكن المستقبل من أن يمتلك أشكالا مختلفة ناشطة بيولوجيا. يمكن لكل منها أن يتأثر مع بروتين G معين أو مع توليفة من بروتينات G، وهذا

يطلق الزناد لبدء نشاط سبل ومسالك خلوية متشعبة. ويجب أن تعطي قيمة كبيرة أيضا للعوامل (الأدوية) التي تجعل الخلايا تزيد أو تنقص كمية المستقبلات على سطحها. بدلا من تعديل نشاط المستقبلات المقترنة بالبروتين G بعد ذاته

يمكن متابعة هذه الاستراتيجية الأخيرة لأجل مكافحة فيروس العوز المناعي البشري. وإحدى المشكلات التي يمكن أن تنشأ عن التعويل على المحورات التفارغية لمنع بروتين الغلاف الفيروسي من إيجاد مقر ارتصافه على المستقبل CCR5، هي أن الفيروس يتطفر mutate على نحو سريع وقد تقود إمكانية التطفار mutability هذه إلى تخليق بروتين غلاف coat protein يمكن أن يرتبط بمستقبل CCR5 مُبَدَّلَ تَفَارُغِيَا allosterically altered، وثمة طريقة معقولة لتجنب هذا التهديد. تكمن في التخلص من هذا المستقبل من سطح الخلية. وهكذا يُحرم الفيروس من نقطة هجومه

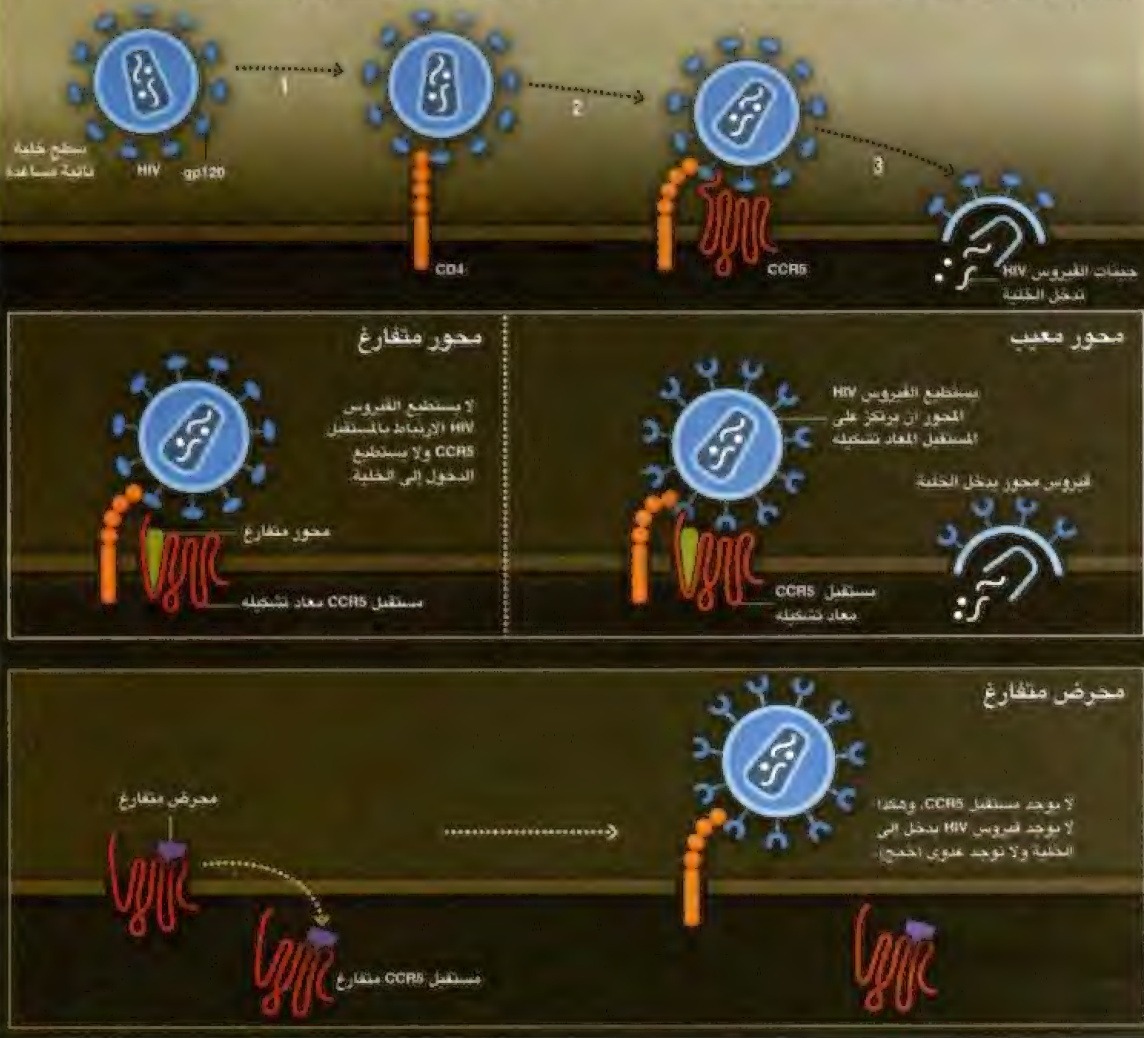
وبالمقارنة مع المستقبلات المقترنة بالبروتين G الأخرى جميعها، فإن المستقبل CCR5 تُخْلَقُ الخلية على نحو لا نهاية له، ويستقر على السطح ثم ينسحب إلى الداخل للتدرك (للتقوض) degradation أو للتدوير recycling وهناك بعض المنشطات الكيميائية (الكيموكينات) المعروفة بتعزيز اندخال internalization المستقبل CCR5 وتسمح هذه الملاحظة بظهور إمكانية إيجاد عوامل فارماكولوجية (دوائية) لا تسرع فقط نزع أو إزالة المستقبل CCR5 من سطح الخلية، بل أيضا تخدم كمعالجات لا يمكن للفيروس أن يتكيف معها، إذ إنه لا يوجد تبدل يمكن أن يخضع له فيروس العوز المناعي البشري يُمكنُهُ من التثبّت (التمسك) على المستقبل CCR5 إذا كان هذا المستقبل قد نُزِعَ من سطح الخلية

(١٠) الفتح والإغلاق

سيناريو لمعالجة فيروس العوز المناعي البشري (HIV)⁽¹⁾

إن المحورات المتفارغة التي تتحلل شكل shape المستقل CCR5 تجعل هذا المستقبل غير قابل لتعرفه بواسطة البروتين gp120 (أعلى اللوحة في اليسار). وهذه المحورات المتفارغة هي قيد الدراسات السريرية (الإكلينيكية). ومع ذلك، تسوء الخطط تستلحق الطفرات الفيروسية viral mutations في آخر الأمر أن تعطل (تحوّل) البروتين gp120 بحيث يصبح قابلاً للارتكاز على المستقبل CCR5 المعدل تعاريفاً allosterically altered. ويُدخل الخلايا الناقصة T cells (أعلى اللوحة في اليمين)، لكن من المفضل أن أحد محركات الاندخال internalization inducer يتكفّل أن يترغ المستقبل CCR5 من سطح الخلية (أسفل اللوحة)، وهذا يجعله غير ملوّا حتى للفيروس المطفّر (الذي حدثت فيه الطفرة).

ثمة نوعان جديان على الأقل من الأدوية التي تستهدف المستقبل CCR5. أحد المستقبلات المقترنة بالبروتين G، يمكنهما يوماً ما مكافحة فيروس العوز المناعي البشري (HIV). وهذا الفيروس يصيب الخلايا الثانية المساعدة Helper T cell مانعاً عن infection في الجهاز المناعي (أعلى اللوحة). وبغية دخول الخلية يلتصق أولاً فيروس العوز المناعي البشري بأحد الجزيئات الذي يسمى CD4 (1). وهو ارتكاز يسهل ارتباط البروتين الفيروسي (gp120) مع CCR5 (2). يصرض هذا الموصل connection الخلايا على التقاط الفيروس المرتكز (3)، مما يمدّ العامل الممرض من إطلاق جيناته genes وتحويل الخلية المصابة بالعدوى (المنعدية) إلى ماكينة لصنع الفيروس virus-making machine.



conformation هي واحد من تلك الأشكال التي نادراً ما يتخذها المستقبل وتبعاً لذلك فإن عدد الجزيئات التي تتدنى هذه الهيئة، تحت ظروف طبيعية، سيكون قليلاً جداً، وهكذا سيكون لها تأثير صغير في السلوك الكلي للخلية وسبكون من الصعب كشفها. ولكن في حال أصبحت

A Scenario For HIV Treatment (x)
Stopping Renegade Signaling (x)

البروتينات G حتى من دون أن «يطلب اليها» لجين رابط bound ligand فعل ذلك فكما هو وارد في الأنماط الأخرى للاداء الوظيفي للمستقبل المقترن بالبروتين G، فإن هذا النشاط البنيوي ينشأ عن شكل shape خاص من الأشكال التي يتخذها المستقبل، «receptor repertoire» ومع ذلك، فإن هذه الهيئة

إيقاف التأثير الارتدادي⁽²⁾

يمكن أن تبدي المستقبلات المقترنة بالبروتين G، بعيداً عن كونها قابلة للسيطرة بواسطة المحورات التفارغية، سلوكاً بيولوجياً مهماً آخر، يُعرف على أنه نشاط بنيوي constitutive. وهذا يعني أنها تُنشّط أحياناً

بعض التوقعات المبكرة لأدوية جديدة^(*)

في مجمل الحالات، بدأ الباحثون باستنباط أدوية تؤثر في المستقبلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) باستخدام طرق جديدة. لكن يتوقع لمثل هذه الأدوية أن تدخل السوق الصيدلانية في السنوات القادمة.

الاضطراب	نمط الدواء	اسم الدواء (اسم الصانع)	مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G	مرحلة التطوير
محور متقارغ		Aplaviroc (Glaxo SmithKline); Virciviroc (Shering-plough); UK-427,857 (Pfizer)	CCR5 (الارتباط مع HIV يساعد هذا الفيروس على الدخول إلى الخلية)	جميعها في مرحلة التجارب البشرية II أو III (الختبارات مبكرة أو متقدمة للنجاعة efficacy)
عدوى فيروس الغوز (HIV) المخاعي البشري	محور متقارغ	AMD3100 (AnerMED)	CXCR4 (يمكن لهذا المُسْتَقْبِل أيضا أن يساعد على دخول الفيروس HIV إلى الخلايا)	في التجارب البشرية في المرحلة III
معرض الإلتهال		PSC-RANTES (مؤسسات عديدة)	CCR5	نظريا
السكري	رابط مُسْتَقْبِل مكون من جزئين	Symilin (Amylin)	معقد مكون من بروتين يسمى RAMP والمُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G (GPCR) للكالسيتونين (هرمون العرق)	بلغ مرحلة صنادقة الولايات المتحدة في الشهر 2005/5
ناهض معكوس		ليس بعد	مُسْتَقْبِل ghrelin فعال بنويويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
السمكة	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِل هيستامين H ₂ فعال بنويويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
السرطان	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِلات مقترنة بالبروتين G فعالة بنويويا	نظريا

بنويويا تحافظ على الشكل العاطل (غير الفعال) inactive shape وفي يوم ما يمكن لمثل هذه العوامل (الأدوية)، التي تسمى ناهضات معكوسة inverse agonists، أن تصبح شكلا جديدا مهما لمعالجة السرطان وهذه العوامل هي قيد البحث أيضا لمعالجة السمكة. وفي هذا الحقل، تتضمن الأهداف المنشودة مُسْتَقْبِل الـ ghrelin، هرمون مُكْتَشَف حديثا يُنتَج على نحو رئيسي في المعدة، والنميط H₂ مُسْتَقْبِل الهيستامين، ويبدو أن كلا اُسْتَقْبِلين يشتركان في التنظيم الدماغي للشهية

استقصاء الجينات الخيالية^(**)

على الأقل ثمة شكل آخر من أشكال سلوك المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G يبقى هدفا للتعقب لأجل اكتشاف الدواء. فالحلويات نقوم أحيانا بترح وإجراء التزاوج ما بين البروتينات، فتشكل معقدات تعمل مُسْتَقْبِلات تمتلك حساسية sensitivities لا تُرى في المكونات المفردة لهذه المعقدات وفي الحد

Some early prospects for new drugs
Exploring Phantom Genes (1)

على قيادة نكاثرة غير مقيد لخلايا السرطان وقد تعرف المختصون بالأورام قبل عهد طويل النشاط البنويوي المخرب لبعض المُسْتَقْبِلات غير المقترنة بالبروتين G، وبخاصة أحدها الذي يدعى ras. وفي هذه الحالات، تكون الطفرات mutations في المُسْتَقْبِل، وليس الوفرة aberrant، هي المسبب لهذا السلوك لا تستطيع المواد الصيدلانية (الأدوية) المعيارية أن تحد (تُلطف) من سوء السلوك الخلوي الذي انطلق بفعل المُسْتَقْبِلات الناشطة (الفاعلة) بنويويا يمكن فقط لمنه مُسْتَقْبِل تقليدي conventional receptor، agonist، أن يجعل عددا أكبر من المُسْتَقْبِلات يتخذ شكلا ناشطا، مما يضر المريض. ويمكن مُحَصِر blocker مُسْتَقْبِل تقليدي، أو مناهض antagonist، أن يمنع الإشارات الطبيعية من أن تفعّل المستقبيلات، لكن مثل هذه العوامل (المحصرات) لن يكون له تأثير في المُسْتَقْبِلات التي لا تحتاج إلى تعزيز من الخارج لكي تعمل وهكذا، ثمة نوع جديد من الأدوية هو المطلوب. ذلك الذي يجعل المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G الناشطة

المُسْتَقْبِلات البنوية الناشطة وغيره بكفاءة. فإن تآشيرها المشترك combined signaling يستطيع أن يمارس تأثيرا قويا وتصبح تلك التآنج خطيرة في حال المرض، مثل العدوى الفيروسية viral infection أو السرطان، الذي يمكن أن يتغافم عن خلال تحريض مُسْتَقْبِل معي أو غيره لكي يسلك سبيلا يعزز المرض. فعلى سبيل المثال، في أحد أشكال سرطان البنكرياس pancreatic، قد يقوم المُسْتَقْبِل الخاص بهرمون معي يدعى الببتيد المعوي الفعال في الأوعية vasoactive intestinal peptide (VIP) بدور المنفذ السي

ففي حالة الخلية البنكرياسية التي تحمل المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فإن تنشيط هذا المُسْتَقْبِل بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية (VIP) يدعم انقسام الخلية، لكن في حالة الأشخاص المبتلين بهذه الخباثة، يصبح المُسْتَقْبِل مفرط الوفرة overabundant وتصبح الأشكال (النسخ) المعدلة versions لهذا المُسْتَقْبِل - والتي تعمل باستقلالية من غير حاجة إلى التنبيه بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية - تبعا لذلك عديدة، إذ تكتسب مع بعضها القدرة

الأقصى لهذا النموذج، تكتسب الخلية استجابية responsiveness إلى إشارة ما كان من الممكن أن تتجاهلها لولا هذا النشاط تلك الهرمونات المفردة مخططاتها الأصلية (طبعتها الزرق) blueprints ضمن جينات (مورثات) نوعية، لكن ليس لهذه المستقبلات التوليفية combination receptors مخطط مفرد موافق (وهو الذي يمكن أن يتوقع من خلاله سلوكيات هذه المستقبلات) وهكذا يمكن أن يُظن بأنها عبارة عن منتجات تنتجها جينات «خيالية» phantom genes.

في بعض الحالات، يُعد المستقبل الجديد معقدا يتكون من مستقبلين أو أكثر من المستقبلات المقترنة بالبروتين G: في حالات أخرى، يتكون من مستقبل مقترن بالبروتين G وبروتين مشارك (تسمى البروتين co-protein). ذلك الذي لا يُعد هو نفسه مستقبلا بل يعطي المستقبل مجموعة معدلة من الخواص ويبدو أن مستقبل أحد الهرمونات الذي يدعى أميلين amylin هو من هذا النمط يقوم الأميلين، المحرر (المنطلق) من قبل الخلايا البنكرياسية نفسها التي تُفرز الأنسولين insulin، بتحويل (تعديل) تأثيرات الأنسولين في خلايا أخرى، ولكن الجهود التي بذلت لتعيين هوية أحد الهرمونات المفردة الذي يخدم مستقبلا لهذا الأنسولين قد فشلت. وأكثر من ذلك، تشير تحاليل متواليات الجينوم (المجين) البشري human genome sequence التي اكتملت حديثا، إلى أنه لا توجد جينة مثل هذا المستقبل ومن ناحية أخرى، هناك معقد يتكون من مستقبل مقترن بالبروتين G لهرمون الدرق «الكالسيبتونين» thyroid hormone calcitonin ومن بروتين لا يُعد مستقبلا non-receptor protein ويدعى RAMP (والحروف هي اختصار البروتين المحور لنشاط المستقبل receptor activity-modifying protein)، وهذا المعقد يستجيب بشدة وبانتقائية للأميلين ويبدو ظاهريا أن البروتين RAMP يجعل مستقبل الكالسيبتونين، متعدد اللغات multilingual - وهو ما يعني أن هذا المستقبل هو تفاعلي reactive تجاه الكالسيبتونين إذا ما اقتنرت الخلايا إلى البروتين RAMP. لكنه حساس للأميلين إذا ما احتوت الخلايا على هذا البروتين.

ويحرض أحد الهرمونات المشاركة (المساعدة) الأخرى، والذي يسمى RCP

(بروتين مكون للمستقبل receptor component protein)، مستقبل الكالسيبتونين لكي يستجيب للإشارات من مادة أخرى، هي CGRP (بيبتيد متعلق بجينة الكالسيبتونين calcitonin-gene-related peptide)، وفي بروتين صغير يُعد البروتين الأكثر فاعلية المعروف بأنه موسع للأوعية الدموية ويصبح هذا التحويل conversion ذا قيمة أثناء الحمل. عندما ترتفع مستويات الدم من البيبتيد الموسع وترتفع مستويات البروتين RCP في جدار الرحم وبسبب ازدياد تركيز البروتين RCP يزداد من ثم عدد مستقبلات الكالسيبتونين التي تصبح حساسة للموسع. وهذا التبدل يعزز إمداد الدم للنسج المهمة لأجل الولادة childbirth.

ولأن الهرمونات المشاركة تؤثر في نشاط وفعالية المستقبل المقترن بالبروتين G، فيمكن لها هي نفسها أن تبرز على قيمتها بصفتها أهدافا دوائية. وأحد الأهداف المدهشة هو الموديولين modulin، وهو بروتين مشارك يرتبط بمستقبلات السيروتونين serotonin. ففي الدماغ، يُعد السيروتونين الناقل العصبي الأكثر شهرة الذي يعزز المزاج moodenhancing. (يعمل הפרزوك Prozac ومضادات الاكتئاب ذات الصلة من خلال زيادة مستويات سيروتونين الدماغ) أما خارج الدماغ، فيؤثر السيروتونين في الأمعاء وفي أوعية الدم وربما على نحو غير مفاجئ، تملك مستقبلات السيروتونين العديد من النُميطات subtypes، وإن الموديولين

يُضبط تأثيرات السيروتونين في خلايا معينة عن خلال تعديل حساسية أحد النُميطات تجاهه. إن الدواء الذي يُحاكي أو يُثبِّط الموديولين، يمكنه، عندئذ، نظريا زيادة أو إنقاص استجابية responsiveness لمستقبلات السيروتونين النوعية. الموجودة على أنماط من الخلايا النوعية ومن ثم يمكن أن يكون ذا فائدة في مجالات تتراوح من الفصام schizophrenia وحتى الوظيفة المعوية المعوية. ويقدر الباحثون أن من بين نحو 650 جينة بشرية للمستقبلات المقترنة بالبروتين G ثمة 330 يمكن أن تكون هي الطبقات الأولية للمستقبلات وتستحق أن تكون مُستهدفة بالأدوية وسابقا، كان العلماء، يركزون على تطوير المثبطات ذات النمط القديم أو على الناهضات الموجبة نحو المقر الناشط للمستقبل. لكن إذا قدم العديد من المستقبلات المقترنة بالبروتين G مقرات كثيرة للهجوم، فسُحِّدَت ثروة في فُرص ابتكار معالجات دوائية جديدة. ولما كان اكتشاف أي دواء واستقصاء تأثيراته وتقييم مأمونيته وإدخاله إلى السوق التجارية يحتاج إلى 15 سنة أو حتى 20، فإن التنبؤات المُفصَّلة سابقة لاوانها. ومع ذلك، إن التبصرات في كيفية السيطرة على المستقبلات المقترنة بالبروتين G توحي بأن هذه البدائل القديمة مازالت حكايتها مثيرة.

■ مجموع الجينات في الكائن

المؤلف

Terry Kenakin

يطبق كيناكين مفاهيم فارماكولوجيا المستقبل على برامج اكتشاف الدواء منذ ثلاثة عقود تقريبا. وهو حاليا الباحث الرئيسي في الشركة الصيدلانية GlaxoSmithKline. نشر 6 كتب عن الفارماكولوجيا. وهو أيضا رئيس التحرير المشارك لمجلة المستقبلات ونسج الإشارة Journal of Receptors and Signal Transduction.

مراجع للاستزادة

Novel GPCRs and Their Endogenous Ligands: Expanding the Boundaries of Physiology and Pharmacology. A. Marchese, S. R. George, L. F. Kolakowski, K. R. Lynch and B. F. O'Dowd in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 20, No. 9, pages 370-375; September 1, 1999.

Drug Discovery: A Historical Perspective. J. Drews in *Science*, Vol. 287, pages 1960-1964; March 17, 2000.

G-Protein-Coupled Receptor Interacting Proteins: Emerging Roles in Localization and Signal Transduction. A. E. Brady and L. E. Limbird in *Cellular Signalling*, Vol. 14, No. 4, pages 297-309; April 2002.

A Pharmacology Primer: Theory, Application, and Methods. Terry Kenakin. Academic Press [Elsevier], 2003.

Scientific American, October 2005

كيف يُجري البشر صفقاتهم التجارية^{١٠}

والخطر ولقد كان علماء الاقتصاد التقليديون يفكرون في قرارات الإنسان بلغة المنفعة المتوقعة - مجموع المكاسب التي يعتقد الناس أنهم سوف يحصلون عليها من حدث مستقبلي مضروباً في احتمالية حدوثه. لكن «كانمان» و«تورسكاكي» أوضحوا أن الناس يقشرون الخسائر أكثر كثيراً من تشجيعهم بمكاسب محتملة وأن الناس تتبع الجماعة (القطيع) لقد أمدنا انفجار ثقافة البورصة في عام 2000 بمثال قوي؛ فربما كانت الرغبة في البقاء مع القطيع قد قادت الناس إلى أن يدفعوا في الأسهم أكبر كثيراً مما قد يدفعه أي مستثمر عقلاني.

قد يستولي الصعود غير العقلاني على مشاعر المتعلمين في البورصة.

ولقد أوضع عمل «سميث» أن تجارب المختبر قد توظف في علم الاقتصاد، الذي كان يعد علماً لاتجريبياً يعتمد كلياً على الملاحظة. ومن بين نتائجها في المختبر القرارات العاطفية ليست بالضرورة غير حكيمة

العواطف التي وصفها <F> دوقال> في المقايضات الاقتصادية عند الحيوانات الاجتماعية لها نظائر في صفقاتنا (معاملاتنا التجارية)، وتوحي مثل هذه التشابهات بأن التأثيرات الاقتصادية البشرية تحكمها - جزئياً على الأقل - الميول والعواطف القديمة. وفي الحقيقة، إن ما يتم في عالم الحيوان يدعم فرعاً جديداً من المعرفة يعرف باسم «علم الاقتصاد السلوكي» behavioral economics. وهذا الفرع الجديد يتحدى ويحور «النموذج القياسي» في مباحث الاقتصاد، الذي يؤكد أن البشر يتسبون قراراتهم الاقتصادية على عمليات التفكير العقلاني. فالتناس مثلاً، يرفضون العروض التي تصدمهم بعدم عدالتها، في حين يثبنا علم الاقتصاد التقليدي بأن الناس يأخذون أي شيء يستطيعون الحصول عليه. وقد مُنحت جائزة نوبل في علم الاقتصاد عام 2002 لراثنين في هذا المجال: <D> كانمان> [العالم السيكولوجي (النقسي) في جامعة برنستون] و<V> L. سميث> [العالم الاقتصادي في جامعة جورج ماسون].

وقد قام «كانمان» وزميله <A> تورسكاكي المتوفى عام 1996 ومن ثم لم يُرشح للجائزة، بتحليل كيف يصنع البشر قراراتهم عندما يواجهون بالشك

عاطفية قوية نحو مخالفة توقعاتهم. وثمة مبحث من علم الاقتصاد تطوري حقا يعترف بسلوكيات المشاركة هذه، وينظر بعين الاعتبار إلى أن احتمال اكتسابنا إياها ليس من باب المصادفة، كما كان يعتقد «هوبس»، لكن كجزء من خلفيتنا كرتيسات متعاونة. ■

How Humans Do Business (١٠)

غير الوشيفة الصلة هي وحدها التي تكون حساسة للتذبذبات اليومية. وجميع المتعاملين اقتصادياً، سواء من البشر أو الحيوان، عليهم مواجهة مشكلة التطفل وتقاسم العائدات بعد جهود مشتركة إنهم يقومون بالاتسمام الأكبر مع أولئك الذين يساعدهم أكثر ويبدون ردود فعل

يحصل عليه الآخرون أمراً غير منطقي أو عقلائي. ولكن على المدى الطويل هو يحفظ الفرد من أن يُحتال عليه وعدم تشجيع الاستغلال عامل حاسم لاستمرار التعاون ومع ذلك، إن المراقبة الدقيقة الدائمة لمسارات الفوائد والخدمات أمر يسبب كثيراً من القلق. وهذا هو السبب في أن البشر يحمون أنفسهم ضد التطفل والاستغلال يتكوين علاقات زمالة مع الشركاء - مثل الأزواج والأصدقاء الجيدين - الذين صمدوا لاختبار الزمن. فإذا ما حددنا الذين نشق بهم، تراخينا في التقيد بالقواعد ولذلك نحن لا نحتفظ بسجلات ذهنية إلا مع الشركاء غير وثيقي الصلة، وننأثر بقوة بالأمور غير المتوازنة ونصفها بأنها «غير مُنصفة».

وقد وجدنا دلالات على تأثير المسافات الاجتماعية في الشمبانزات فكما رأينا، إن أسلوب «واحدة بواحدة» نادر بين الأصدقاء الذين يقدمون خدمات بعضهم لبعض روتينياً وتبدو هذه العلاقات أيضاً حصينة نسبياً ضد عدم المساواة. ولقد أجرت «بروسنان» تجاربها في التبادل باستخدام العنب والخيار على الشمبانزات وقرد كاپوشين أيضاً. ولقد ظهر أقوى رد فعل بين الشمبانزات التي عرف بعضها بعضاً زمناً قصيراً نسبياً، في حين أن أعضاء الجماعات التي عاشت معاً لأكثر من 30 عاماً فلا تكاد تتأثر على الإطلاق بهذه العوامل؛ بل ربما كلما رادت ألفتها زاد إطار الوقت الذي تقيم الشمبانزات فيه علاقاتها. والعلاقات البعيدة

المؤلف

Frans B. M. DeWaal

هو استاذ كرسي H.C. كاندلر لسلوك الرئيسات في جامعة إيموري ومدير مركز الحلقات الحية في مركز يركس الوطني لأبحاث الرئيسات. يتخصص «دي فال» بالسلوك الاجتماعي والعرفي في القريد والشمبانزي والبونوبوس (الشمبانزي القرم)، وعلى وجه الخصوص من ناحية التعاون وحل المفاغرات والثقافة. ومن بين مؤلفاته سياسات الشمبانزي Chimpanzee Politics، صنع السلام بين الرئيسات Peacemaking among Primates، والقردو العليا وسيد السوشي The Ape and the Sushi Master (والسوشي أكلة بابانية من الأرز والسك والخصروات).

مراجع للاستزادة

- The Chimpanzee's Service Economy: Food for Grooming. Frans B. M. de Waal in *Evolution and Human Behavior*, Vol. 18, No. 6, pages 375-386; November 1997.
- Payment for Labour in Monkeys. Frans B. M. de Waal and Michelle L. Berger in *Nature*, Vol. 404, page 563; April 6, 2000.
- Choosy Reef Fish Select Cleaner Fish That Provide High-Quality Service. R. Bshary and D. Schäfer in *Animal Behaviour*, Vol. 63, No. 3, pages 557-564; March 2002.
- Infants as a Commodity in a Baboon Market. S. P. Henzi and L. Barrett in *Animal Behaviour*, Vol. 63, No. 5, pages 915-921; 2002.
- Monkeys Reject Unequal Pay. Sarah F. Brosnan and Frans B. M. de Waal in *Nature*, Vol. 425, pages 297-299; September 18, 2003.
- Living Links Center site: www.emory.edu/LIVING_LINKS/
- Classic cooperation experiment with chimpanzees: www.emory.edu/LIVING_LINKS/crawfordvideo.html

Scientific American, April 2005

أمل جديد لقهر الروتافيروس

مع أن اسمه ليس معروفا للكثيرين فإن الروتافيروس أو فيروس «الروتا» هو السبب الرئيسي للإصابة بإسهال الأطفال في العالم، ويقتل العديد من الأطفال الصغار في الدول النامية. وحاليا، بعد ثلاثين عاما من الأبحاث سيتوافر في الأسواق اللقاح الذي يمكن أن يقضي عليه.

< R | كلاس >

إن الفكرة السائدة عن الفيروس القاتل تعيد للأذهان صور المرضى الذين يعانون الإصابة بفيروسات «الايولا» في إفريقيا و«السارس» في آسيا و«الهانتا» في الولايات المتحدة الأمريكية ولكن في الواقع فإن هذه الفيروسات الشريرة حصدت من الأرواح أقل مما حصده الروتافيروس الذي مازال اسمه مجهولا للعامة: فتقريبا يصيب هذا الفيروس جميع الأطفال في السنوات الأولى من أعمارهم وهو يسبب قينا يعقبه إسهال، وكثيرا ما يكون الإسهال شديدا، حتى إنه لو ترك من دون علاج يؤدي للإصابة بصدمة من التحفاف ثم الوفاة وفي مختلف أنحاء العالم يقتل الروتافيروس نحو 610 000 طفل، ما يوازي خمسة في المئة من جميع وفيات الأطفال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات. وفي الولايات المتحدة قليل من الأطفال يموتون من الإصابة بالفيروس ولكن نحو 70 000 يحتاجون سنويا إلى دخول المستشفيات والعديد من الملايين يعانون بصمت الإصابة بالفيروس في المنازل.

وضع أن العلماء حاليا على وشك تحطيم قبيضة هذا المرض القاتل - في الشهر 1، وبعد ثلاثة عقود من تعرّف السبب الرئيسي للمرض - فقد أعلنوا أن نوعين من اللقاحات من هذا الفيروس قد ثبتت فاعليتهما في التجارب السريرية (الإكلينيكية) التي شملت أعدادا كبيرة. وقد كانت عملية تصنيع اللقاح ضد الروتافيروس شديدة الصعوبة والتعقيد أكثر مما يمكن أن يتصوره أي إنسان، كما كانت تعجّ بالتراجعات والمفاجآت. ولكن منظمة الصحة العالمية (WHO) والاتحاد العالمي للتحصين والمناعة اعتبر أن لقاح الروتافيروس ذو أولوية قصوى وأن المعركة النهائية لحصول الأطفال الصغار على هذا اللقاح الذين يحتاجون إليه بشدة

قد بدأت بالفعل



يجري إنقاذ الطفل المصاب بإسهال شديد نتيجة العدوى بالروتافيروس عن طريق علاج الشفاف، ولكن العديد من الأطفال في الدول النامية، حيث لا تتوافر وسائل الرعاية الصحية لهم ولا يتم علاج المصابين بالفيروس، سوف يموتون بسبب الإصابة.



نُزِيرَات (جُزْبَنَات) الفَيروس تشبه العجلة (ومن هنا جاء اسمها روتا، أي العجلة) حيث يمكن رؤيتها بالمجهر الإلكتروني - النُزِيرَات في هذا الشكل ملونة ومكبرة تكثيراً شديداً

تعرّف الفيروس المعدي

في عام 1973 كانت «R» ببشوب - عالمة الميكروبيولوجيا (الأحياء الدقيقة) الشابة والتي تعمل في مجال أمراض الجهاز الهضمي بالمستشفى الملكي في ملبورن - أستراليا] أول من تعرف الروتافيروس مسبباً لمرض الإنسان وفي هذا الوقت كان الباحثون حائرين في معرفة سبب إسهال الأطفال. ومع أن المرض كان منتشرًا وشديدًا، فقد كان من النادر تعرف أسبابه. ولعرفة المسببات كانت مجموعة «ببشوب» تفحص بوساطة المجهر الإلكتروني عينات من الإثني عشر والأمعاء الدقيقة للأطفال المصابين بإصابات حادة، وقد ذهبت مجموعة «ببشوب» لما شاهدته: الاحتشاش بفيروسات تشبه العجلة في الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء.

وقد بدأ اهتمام كاتب هذه المقالة شخصياً بالروتافيروس في عام 1979 عندما انتقل هو وزوجته إلى بنغلاديش للعمل في المركز الدولي لأبحاث أمراض الإسهال ومثل أي شباب مثاليين تم أنجذابهم لهذا العمل لرغبتهم في مساعدة الأطفال في بلد، حيث الإسهال الشديد من أهم أسباب الوفاة فيها وفي المستشفى المركزي في دكا كان يتم سنوياً إدخال مرضى عديدين مصابين بما كان يسمى «الإنفلونزا المعوية». لدرجة أنه كان يتم رعايتهم في عمرات المستشفى وفي خيم خارجة، معتقدين أن العدوى البكتيرية هي التي سببت الإصابة بالإسهال. وفوجئنا أن هؤلاء الأطفال لم يكونوا مصابين بالكوليرا أو السالمونيلا أو الشيغيلا أو الكولونيات، بل بالروتافيروس الذي كانت معرفتنا به قليلة، وبلاستعانة باختبار بسيط تم تعرف أن الروتافيروس كان سبب دخول ما يراوح بين

نظرة إجمالية/ اكتشاف الروتافيروس⁽¹⁾

- تصاب تقريباً كل طفل في العالم بالروتافيروس على الأقل مرة واحدة، على الرغم من ذلك مازال اسم المرض مجهولاً لدى الكثيرين، وغالباً ما يشخص على أنه إنفلونزا معدية أو معوية، حتى لدى العاملين في مجال الرعاية الصحية.
- يسبب المرض خسارة كبيرة للأطفال الصغار، حيث يؤدي إلى دخول عشرات الآلاف منهم إلى المستشفيات كل عام في الولايات المتحدة، ويقتل أكثر من 600 000 في البلاد الفقيرة.
- منذ اكتشاف الفيروس قبل ثلاثين عاماً - عرف الباحثون الكثير من أسرارهِ، ومنها التوصل إلى أن اللقاح يمكنه القضاء عليه.
- اليوم بعد عدة عشرات وبدايات خاطئة تم تقريباً كسب السباق لإيجاد لقاح: العديد من لقاحات الروتافيروس أثبتت سلامتها وفعاليتها.

25 و 40 في المئة من جميع الأطفال المصابين بالإسهال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات للمستشفى وأظهرت الدراسات من مختلف أنحاء العالم نتائج مماثلة، بل أكثر من ذلك: لقد أوضحت أن الروتافيروس لم يكن فقط واسع الانتشار ولكنه سبب رئيسي للوفاة في البلاد الأشد فقراً وفي عام 1985 أجبرت هذه المعلومات المؤسسة الطبية على وضع عدوى الروتافيروس على رأس قائمة الأمراض التي تستدعي عاجلاً وجود لقاحات لها في دول العالم النامية

وفي الوقت نفسه ومما يدعو للاستغراب كانت معرفة نسبة انتشار الروتافيروس في الولايات المتحدة في عام 1986 غير معروفة - وعند عودة كاتب المقالة إلى مراكز مكافحة الأمراض (CDC) في الولايات المتحدة الأمريكية، كان المرض نادراً ما يتم تشخيصه. وفي الواقع لم يكن حتى مسجلاً على قائمة التصنيف الدولي للأمراض. وبعد معرفة أهمية المرض مما وراء البحار، قام الكاتب وزملاؤه بالتقصي عما إذا كان المرض يصيب الكثير من الناس في الولايات المتحدة.

ولكن كيف يمكن تقدير عبء مرض كان من النادر تشخيصه، ولم يسبق تدوينه في سجلات المرضى من المستشفيات ولا يتم تشخيصه بوساطة معظم أطباء الأطفال الذين كثيراً ما يعالجونه؟ بدأت زميلتي «Ch-M» - هو - بمراجعة سجلات إدخال الأطفال إلى المستشفيات، ووجدت أن الإسهال سبب شائع للبقاء في المستشفيات في نحو 12% من الأطفال دون الخمس سنوات، وتم تسجيلهم على أن سبب الإسهال غير معروف. وأثبتت الدراسات التالية أن الإصابة بالروتافيروس شكلت نصيب الأسد من الحالات غير المعروف سببها وقد ظهرت ثلاث حقائق مثيرة أخرى عن الروتافيروس في أمريكا: أولاً إن العدوى تتبع نظاماً موسمياً محدداً - قمته من الشهر 12 إلى الشهر 3؛ ثانياً إن معظم الأطفال الذين يتم إدخالهم بسبب الإصابة بهذا الفيروس سنهم أقل من خمس سنوات؛ ثالثاً بصرف النظر عن الموسم فإن الروتافيروس يسبب معظم حالات الإسهال الشديد في الأطفال الصغار.

يعرف دارسو علم وبائيات الأمراض حالياً أن الروتافيروس هو أكثر وأهم سبب للإصابة بإسهال الأطفال في جميع أنحاء العالم ويصيب افتراضياً جميع الأطفال بين سن ثلاثة أشهر وخمس سنوات ولأن الفيروس يختلف عن البكتيريا التي تنتشر عن طريق الغذاء أو الماء الملوث، وبذلك تتركز إصاباتهما في المناطق الفقيرة، ولا تتبع الإصابة بالروتافيروس حدوداً جغرافية وفي الواقع بسبب سعة انتشار الفيروس فإن الأمريكيين يواجهون نفس خطر الإصابة، مثل البنغلاديشيين - مما يشير إلى أن الفيروس شديد العدوى، وينتشر بسهولة مثل انتشار فيروس «نزلة البرد» مثلاً. وكما هو معروف في الفيروسات التي تسبب الإصابة بنزلة البرد فإن تطبيق القوانين الصحية وماء الشرب النظيف ليس لهما تأثير يذكر في منع

التوزيع العالمي للوفيات عام 2003 بسبب الروتافيروس



فقط بنوية إسهال أخرى سببها الروتافيروس، حيث توجد لديهم مناعة طبيعية - وأن جهازهم المناعي ينطلق بسرعة للتعرف ولتبع تكاثر الفيروس عند هجومه التالي - ولكن لأن الكثير من الأطفال يمرضون بشدة من أول عدوى، فكر العلماء في لقاح يشابه المناعة الطبيعية كأفضل أمل لإنقاذ الأرواح.

وتبدأ رحلة البحث عن لقاح

اللقاحات أسلحة قوية في محزون الإنسان ضد الأمراض الابتنائية وتعتبر أهم التدخلات المؤثرة في الصحة العامة. وسواء كانت مصنوعة من الكائنات الحية الدقيقة أو المقتولة أو من بروتيناتها الأساسية، فإن اللقاحات تخضع للجهاز المناعي للمتلقي ليعتقد أنه هوجم بالمرض. واستجابة لذلك فإن الجهاز المناعي ينتج أضداداً (أجساماً مضادة) للقاح (الذي لا يسبب

Global Distribution of Deaths from Rotavirus (11)
Quest for a Vaccine Begins (11)

انتقال المرض.

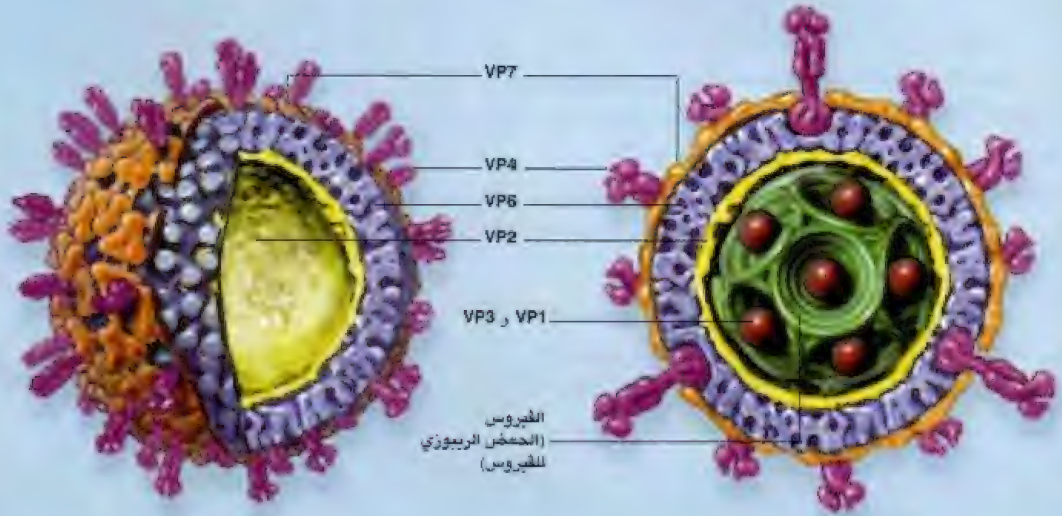
وتشهد الدراسات السريرية والجزئية على ضراوة المرض، حيث إن عشرة جزيئات فقط من الفيروس يمكنها بدء المعاناة لدى طفل صغير. وإذا حمل بالفيروس يقع على إبهام الطفل أو على لعينه يكفي للإصابة بالمرض. ويدخله في الفم يجد الفيروس طريقه للخلايا الظهارية البطانة للأمعاء الدقيقة، حيث يتكاثر بسرعة مذهلة، وخلال 24 ساعة فإن عشرة فيروسات يصل عددها إلى الملايين - تملا وتقتل الخلايا بروتيناتها وذيقاناتها - وجزيئات صغيرة مصنعة وبسرعة يتسلخ الغشاء المبطن للجهاز المعوي ويخرج فيضاً من السوائل والأيونات (الشوارد) الذاتية في السوائل إلى خارج الجسم على هيئة توبات من الإسهال، وبدون بدء علاج الإصابة لمقاومة التجفاف يفقد الطفل 10% من وزنه ويصاب بالصدمة - فقط خلال يوم أو يومين من الإصابة.

ولحسن الحظ، فإن الأطفال الذين ينجون من الإصابة بالعدوى الأولى لا يعانون مضاعفات طويلة الأمد - وقد يصاب القليلون منهم

الروتافيروس عن قرب

الشكل: الذاان يتتجان من انتطار اليروتين VP4 داخل الجسم. اما اليروتين VP6 فيشكل الطقة القوسية وهي أساسية بالاستتاع الوريالي لتكوين اليروتينات في الخلية المصابة. ويكون اليروتين VP2 الطقة الداخلية. اما اليروتينان VP1 و VP3 فهما إزيمان يعملان على نسخ جينات الفيروس. والجينوم مكون من إحدى عشرة قطعة من خيط الرنا المزوج مغشوا بشدة على نفسه، وهذه القطع تكوّن اليروتينات VP6 وكذلك اليروتينات غير البنيوية وتشمل ذيفانا اسمه NSP4 يتشكل بعد دخول الفيروس الخلية.

توضح الدراسات البنيوية للفيروس بالمجهر الإلكتروني - الذي يظهر أسفل، في مقطعين - أنه يتكون من ثلاث طبقات من اليروتين التي تغلف الجينوم (المجن) ويريوتيناته البنيوية التي توجد على شكل ذريرات تنتشر من شخص إلى آخر وتسمى VP6 ويتم ترقيمها. يكون اليروتين VP7 السطح الخارجي ويمتلى بالشواك اليروتين VP4. وهذان اليروتينان يثيران الارتكاس المناعي للمصاب - وبهذا يقومان بدور أساسي في اللقاحات - كما يسهل اليروتين VP4 دخول الفيروس إلى الخلايا - كما يفعل الشيء نفسه اليروتينان VP5 و VP6 (لم يظهر) في



يمكنها التكاثر ولكنها ضعيفة وغير قادرة على إحداث المرض، بل تماثل الوفاة الناتجة من الإصابة الطبيعية بالعدوى وأيضاً في حالة الروتافيروس فإن اللقاحات عن طريق الفم تسرع الاستجابة المناعية في المكان المطلوب، إلا وهو القناة الهضمية وبسرعة ركز مصنعو اللقاح على الفيروس الحي الذي تم إضعافه وبخاصة سلالات الروتافيروس التي يمكن تناولها عن طريق الفم وليس عن طريق الحقن بالإبر.

وفي عام 1983 كان أول لقاح ضد الروتافيروس جاهزاً للاختبار، فقد قام «آندريه» [من شركة سميت كلاين (RIT) (حالياً كلاكسو سميت كلاين للدواء) في روكيسارت - بلجيكا] و«إفيسيكاري» [طبيب أطفال في جامعة تامبير في فنلندا] بإعداد واختبار لقاح مستخرج من سلالة للروتافيروس موجودة في الأبقار. واختاروا سلالة بقرية من الروتافيروس، لأنها تمكنت من النمو جيداً في المزارع واعتقد أنه سيتم إضعافها طبيعياً في الإنسان.

وبجميع المقاييس، فإن أول محاولة تمت في فنلندا تعتبر نجاحاً رائداً وقد نجح اللقاح في إنقاص احتمالات الإصابة الشديدة بالمرض عند الأطفال الذين تم إعطاؤهم اللقاح بنسبة

أي خطر حيوي) كما لو كان ضد الفيروس نفسه - وكما هي الحال في المناعة الطبيعية فإنه في حالة الإصابة بالفيروس نفسه السبب للمرض فإن الجهاز المناعي يكون مستعداً لإفراز الأضداد أو لتحيريكها.

ومنذ عشرين سنة اهتمت شركات أدوية كثيرة بإنتاج لقاح ضد الروتافيروس مع احتمال سوق كبيرة الحجم وذات توزيع عالمي، واتضح أن السعر العالي لتكلفة إنتاج اللقاح سيكون معقولاً إضافة إلى أن توزيعه سيكون سهلاً حتى في الأمكنة البعيدة، ويمكن إضافة لقاح الروتافيروس إلى البرنامج العالمي لتطعيم الأطفال برعاية منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي للأطفال (اليونيسيف)، الذي يغطي نحو ثمانين في المئة من اللقاحات الروتينية لأطفال العالم.

وعلى الرغم من أن سبلاً عديدة لإنتاج اللقاحات تم طرقها سواء كانت سلالات آدمية أو حيوانية - فيروسات حية أو مقتولة، الفيروس كاملاً أو بروتيناته فقط، اتبع باحثو الروتافيروس طريقة «سابين» [مكتشف لقاح شلل الأطفال] بالإعطاء عن طريق الفم لقد اعتقد «سابين» أن اللقاحات الحية

Rotavirus up Close 111

كيف يهاجم الروتافيروس

شديد العدوى يمكن التقاط الروتافيروس من الهواء أو بلمس سطح ملوث بهذا الفيروس.



1 يدخل
الفيروس
الجسم من الفم -
غالبًا عن طريق
إسبام ملوث وتمز
ذرات الفيروس
من خلال المعدة
إلى الأمعاء
الدقيقة.

2 تقوم البروتينات VP4 بالصاق الفيروس
على الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء.

3 ثم يتم التخلص من الأتسوك الخاصة بالبروتين VP4 والغلاف الخارجي
للفيروس، في حين تدخل باقي الجزيئات إلى سيتوبلازم (هيولى) الخلية.

4 وهناك تقوم جينات (مورثات) الفيروس بتكوين آلاف النويات
الجديدة من الفيروس ونويات الذيفان التي تسمم حتى الخلايا
غير المصابة وتؤدي إلى خروج السوائل من مسبح الأمعاء.

5 تخرج موجات جديدة من الفيروسات وتتوجه
لعدوى خلايا سليمة وتعيد الدورة نفسها.

6 تخرج الخلايا الظهارية الميتة والسوائل من المعدة والأنسجة
وقملاً الأمعاء وتخرج من الجسم على شكل إسهال شديد.

السوائل وأشياء أخرى
تخرج من الجسم

خلية
ميتة

العودة إلى اللجنة المخططة لإنتاج اللقاح

رأى الباحثون في معاهد الصحة الوطنية (NIH) وفي مؤسسة
فايسنار بفيلا دلفيا - في الولايات المتحدة - أن سبب فشل اللقاح
الذي أنتجته الشركة RIT ربما يعود إلى أن الفيروس البقري
المستخدم أضعف بشدة. لدرجة أنه لم يكن قادراً على التكاثر
واستثارة استجابة مناعية تحت الظروف غير الملائمة وبدأ العلماء
رحلة البحث عن تركيبات جديدة: فمثلاً تعرف «A» كيبكيان» (من
معاهد الصحة الوطنية) سلالة من الفيروس نصيب قرد الريزس. في
حين تعرف «B» كلارك» و«S» بلوتكن» (من مؤسسة فايسنار) سلالة
بقريّة أخرى من الفيروس يمكنها التكاثر بسرعة أكثر وقد تم إعداد

Wreaking Havoc: How Rotavirus Attacks (١١)
Back to the Drawing Board (١٢)

88 في المئة، وظهر أن المناعة يمكن استئثارها بوساطة لقاح
يتم تناوله عن طريق الفم إضافة إلى أن اللقاح لم يكن له أي
آثار جانبية مزعجة. ومتشجعة بهذه النتائج بدأت الشركة
سميث كلاين (RIT) بمحاولات في دول أخرى. وبطول أواخر
الثمانينات، بدأ الشعور بأن الوفيات بسبب الإصابة
بالروتافيروس أصبحت تحت السيطرة ولكن نتيجة المحاولات
في إفريقيا والبيرو أثبتت عدم تطابقها مع النتائج السابقة
وكانت محبطة. وبسبب عدم التأكد من أسباب المشكلة، وعلى
الرغم من أن النظم الصحية وعدم علاج الإنذانات وسوء
التغذية والإصابة بالطفيليات - جميعها عوامل معروفة تؤثر
في الاستجابة المناعية للقاح - فقد أوقفت الشركة برنامج
إنتاج اللقاح.

إنتاج لقاح للروتافيروس

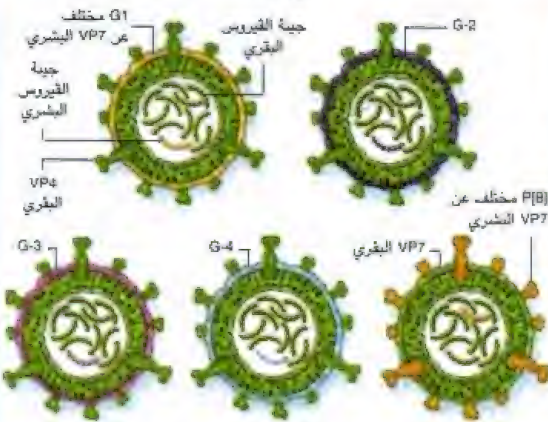
موران من لقاحات الروتافيروس التي ثبتت كفاءتها العالية حديثاً في التجارب السريرية سيتم عرض أشكال لها في الأسفل

روتاريكس

تصنعه شركة كلاكسو سميث كلاين - روتاريكس يتكون من سلالة واحدة من الروتافيروس المعدية للإنسان والتي تعمل مناعة ضد سلالات كثيرة. ويحتوي اللقاح على أنواع مختلفة من البروتينات VP7 و VP4 و VP6 و VP8 على التوالي. ويسبب أن هذا الفيروس الأدمي يمكن أن يؤدي إلى حدوث المرض إذا كان بكامل كفاءته فقد أضعفه المنتج من خلال طريقة عادية لزراعة الأنسجة التي تصنع من أن يؤدي لحدوث أعراض المرض ولكن تمكنه من التكاثر بدرجة كافية لتحفيز الاستجابة المناعية.



روتاتيك



تصنعه شركة Merck، يحتوي الروتاتيك على خمسة أشكال من الفيروس متمايزة من بعضها وراثياً. هذه الأشكال ناتجة من مزج عشرة أنواع من جينات الروتافيروس التي تصيب الأبقار، مع واحد من خمسة أنواع من جينات الروتافيروس البشرية. وذلك يتكون من فيروسات أساساً بقرية تحتوي على بروتين على السطح من فيروس بشري أربع من هذه التشكيلات لديها جينة تكود للبروتين VP7، أو C-1، C-2، C-3، C-4. وواحد من هذه الأنواع يحمل جينة P8 شكل من أشكال البروتين VP4. والنتيجة النهائية هي لقاح خماسي التكافؤ بقي بخاصة ضد أربع سلالات بشرية من الروتافيروس وأكثرها انتشاراً إضافة إلى ذلك فيه كثير من الجينات البقرية التي تسبب أمراضاً عند البشر

هذه السلالات لاستخدامها في الاختبارات السريرية على الإنسان. ولكن هذه أيضاً أظهرت كلا من النجاح والفشل. وقد اتضح الاحتياج لسنتين أخرى لإعادة التفكير في الأسس العلمية وفي الوقت نفسه. بدأ علماء آخرون بتعريف التركيب الجزيئي للفيروس. وعلى الرغم من مظهره في المقطع العرضي للفيروس الذي يشبه العجلة، فإن الروتافيروس يتكون فعلاً من كرة ذات ثلاث طبقات تحتوي على 11 قطعة من شريط الرنا المزدوج. وكل منها تحتوي على جينة (مورثة) واحدة تكون الكود الوراثي لبروتين محدد. وهذه البروتينات تتكون من نوعين رئيسيين النوع الأول تركيبى (يحدد تركيب الفيروس) والآخر غير تركيبى (يتكون داخل الخلايا المصابة) والبروتينات التركيبية للفيروس تم ترميمها إلى VP1 و VP2 وهكذا... وكذلك البروتينات غير التركيبية (NSP) التي تشارك في تكاثر الفيروس وفي الإخلال بوظائف الأمعاء.

وكانت الطبقة الخارجية في تركيب الفيروس مهمة في تتبع الاستجابة المناعية عند الحاضن للفيروس. وبؤرة الاهتمام في إنتاج اللقاح والبروتين رقم 7 (VP7) يشكل السطح المنكوم للفيروس، في حين أن البروتين رقم 4 (VP4) يشكل الأشواك على السطح الخارجي للعجلة. والبروتين رقم 6 (VP6) البروتين الأكثر توافراً ينوضع تحت البروتين رقم 7 ويشارك في إنتاج بروتينات الفيروس ضمن الخلايا المصابة - أما البروتين غير التركيبى والمسمى (NSP4) فهو ذيفان قد يقوم بدور في حدوث الإسهال الشديد. وهناك أشكال عديدة للبروتينات وسلالات عديدة تكون خلطات مختلفة من البروتينات. وعندما تحدث إصابة لنفس الخلية بسلالتين من الفيروس - تنشق قطع جينات الفيروس نفسها كما لو كانت أرقاماً في ماكينة شراء وتكون تشكيلات عديدة تؤدي إلى أنواع جديدة من الفيروس. ويتم تكوين أنواع جديدة من هذه الفيروسات باستمرار. ولكن كما هي الحال في معظم الطفرات - القليل منها يسمح باستمرار الفيروس في الحياة. وبناءً على ذلك فإن من بين الـ 42 سلالة من الروتافيروس التي تم تعريفها (حتى كتابة هذه المقالة) واعتماداً على تركيبها من أنواع البروتينات VP7 و VP4 فإن أربعة أو خمسة أنواع فقط تشكل أكثر من 90 في المئة من مرض الروتافيروس في العالم.

ويتعرف القدرة الطبيعية للروتافيروس بترتيب جيناته، اكتشف العالم «كايبيكيان» وزميله «إي كرينبرك» [في معاهد الصحة الوطنية (NIH)] طريقة مختبرية لإنتاج تشكيلات لها فائدة في إنتاج اللقاحات ولكنها لا تسبب الإصابة بالمرض. وقد بنوا بإعادة تشكيل فيروس مكون من مزيج من عشر جينات من الروتافيروس الذي يصيب القرد - بإعطائه خاصية الإضعاف وبه جينة واحدة تكود للبروتين السطحي (بروتين الطبقة الخارجية) (VP7) من سلالة بشرية. وقد تم عمل ثلاثة من هذه التشكيلات وكل منها يحتوي على نوع مختلف من البروتين الأدمي VP7 وأحدها من سلالة فيروس الريزس الصافي ونوع رابع من البروتين VP7 يوجد في كل من

الإنسان والريزس. وقد مزجوا الأنواع الأربعة في خليط يسمى اللقاح الرباعي التكافؤ ليعطي وقاية ضد السلالات الأدمية الأربع الأكثر انتشاراً من الروتافيروس

وفي عام 1991 منحت هيئة الغذاء والدواء (FDA) شركة ويرت إيرست (التي سميت فيما بعد ويرت للصيقلانيات) الإذن بصنع واختبار هذا اللقاح. الذي تم إعطاؤه اسم «روتاشيلد». وعلى مدى السنوات الخمس التالية قامت بإجراء تجارب سريرية على نطاق واسع في الولايات المتحدة وفنلندا وفنزويلا للتحقق من سلامة

Making a Rotavirus Vaccine (1)

أسفرت الجهود الاستطلاعية في أكثر من أربعين دولة - قام بها «إيريمبي» و«DIA» بإرشاده - [من مركز مكافحة الأمراض] مع منظمة الصحة العالمية وبرنامج التقانة الملائمة في الصحة - عن أنهم مازالوا في بداية الطريق لتزويد صانعي القرار بما يحتاجون إليه من معلومات قبل أن يرحبوا باللقاح في دولهم، إضافة إلى أن المعلومات الأكيدة حول تناول اللقاحات الحية بالغم في أفقر مناطق العالم أمن وشديد الكفاءة مازالت ناقصة - إضافة إلى أن اللقاحات التي تكلف مئات الملايين من الدولارات لإنتاج كل منها - يجب أن يتحمل نفقاتها هؤلاء المسؤولون عن 135 مليون طفل الذين يولدون في العالم كل عام.

وإلى الآن مازال يجري بناء قوة الدفع، والكثيرون منا يأملون أنه خلال عقد من الزمان سيتمكن القضاء على هذا السبب الأعظم للإسهال والقاتل الرئيسي للأطفال في الدول النامية، وذلك بوساطة أقوى وأرخص الأسلحة التي تمتلكها حالياً ألا وهي التطعيم وبمساعدة مجتمع دولي متعاون وقادر على التنفيذ سوف يمكن ضم الروتافيروس إلى قائمة الكائنات الدقيقة التي أمكن القضاء عليها بالتطعيم، مثل شلل الأطفال والجذري والدفتيريا، التي نُحيت جانباً وصارت خاملة الذكر. ويأمل علماء الأوبئة أن كون هذا المرض قد أصبح من جديد حامل الذكر - كما تميز تاريخياً نظراً للجهل به حينذاك - شاهد حقيقي

على قوة التطعيم
Future Challenges (١١)

المؤلف

Roger I. Glass

رئيس قسم الاتهامات المعدية المعوية الفيروسيّة في مركز مكافحة الأمراض (CDC) وأستاذ مساعد للأطفال والصحة الدولية في جامعة إمبوري. وهو أحد قادة علم الأمراض الوبائية. وتؤكد أبحاث أهمية اللقاحات في منع الأمراض - وهو مستشار لمنظمة الصحة العالمية والاتحاد الدولي للمناعة واللقاحات وبرنامج التقانة الملائمة للصحة - في عام 1988 حصل على جائزة ياسنور من «مبادرة لقاحات الأطفال» لأبحاثه على لقاح الروتافيروس - ويتقدم المؤلف بالشكر إلى «PhD» «بريميتزر» [من كلية الطب في جامعة هارفارد] لمساعدته الفعالة على رسم الأشكال الخاصة بهذه المقالة

مراجع للاستزادة

Global Illness and Deaths Caused by Rotavirus Disease in Children. U. D. Parashar et al. in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 9, No. 5, pages 565-572; May 2003.

The Future of Rotavirus Vaccines: A Major Setback Leads to New Opportunities. Viewpoint. R. Glass et al. in *Lancet*, Vol. 363, Issue 9420, pages 1547-1550; May 2004.

Safety and Efficacy of an Attenuated Vaccine against Severe Rotavirus Gastroenteritis. G. Ruiz-Palacios et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 354, pages 11-22, January 5, 2006.

Safety and Efficacy of a Pentavalent Human-Bovine (WC3) Reassortant Rotavirus Vaccine. T. Vesikari et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 354, pages 23-32; January 5, 2006.

Scientific American, April 2006

التي حدثت لأطفال كثيرين ممن تم تطعيمهم بلقاح الريس - وأيضاً فإن الشركة ستقصر التجارب السريرية على الأطفال بعمر ستة إلى اثني عشر أسبوعاً فقط.

واجهت كل من الشركتين طلب هيئة الغذاء والدواء الأمريكية بإجراء التجارب السريرية، لأن الهيئة أرادت التأكيد أن الجيل التالي من لقاح الروتافيروس سيكون أشد أماناً من «روتاشيلد»، وصممت على أن تُجرى التجارب السريرية على أعداد كبيرة لاكتشاف أية خطورة مهما كان حجمها صغيراً - ناتجة من استخدام اللقاح وكان الهدف في البداية (60,000) مشترك لكل تجربة وبذلك كانت أكبر وأعلى دراسات لاختبار الأمان لأي لقاح سبق اختباره قبل ترخيصه. ولم تكن فقط الاختبارات مرتفعة التكاليف ولكن الإجراءات نفسها كان ذا خطورة - كل ذلك سينهار مباشرة لو أن نسبة الانغلاف بين الأطفال المطعمين زادت على نسبة الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم - واستمرت التجارب تحفها بعض المخاوف

والآن - بعد ست سنوات من جدل الانغلاف - بدأ رهان الروتافيروس يُؤتي ثماره. أتت شركتنا كلاكسو سميث كلاين وميرك التجارب السريرية، وكانت نتائج اللقاحين مشجعة ونتج منها 85% - 95% وقاية ضد الإسهال الشديد الناتج من الروتافيروس، إضافة إلى أن اللقاحين لم يُحدثا أي زيادة في نسبة الانغلاف عن الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم

وتم اختبار لقاح كلاكسو سميث كلاين «روتاريكس» Rotarix أولاً في أمريكا اللاتينية. ومنذ عام 2004 حصل اللقاح على الموافقة من عشرين دولة وحديثاً من الاتحاد الأوروبي ويتم مراجعته حالياً في الولايات المتحدة. وعلى العكس ركزت شركة ميرك هدفها على التسويق في الولايات المتحدة أولاً - رغبة في أن تثبت أن لقاحها «روتاتيك» Rotareq يتميز بالسلامة هناك - قبل إدخاله إلى أي مكان آخر من العالم. وقد حازت الشركة الموافقة في المكسيك والولايات المتحدة - وتتوقع الحصول عليها في أوروبا هذا العام - وهذه الموافقات تمهد لإدخاله في دول عديدة.

وأيضاً يهتم صانعو اللقاح في الدول النامية بالروتافيروس. ولقاح الروتافيروس لا يحتاج إلى تقانة الهندسة الحيوية المعقدة - فهو مثل لقاح شلل الأطفال يمكن إنتاجه باستخدام طرق زراعة الأنسجة التقليدية. وهذا في متناول أبدي الشركات الصغيرة - واليوم يوجد أكثر من عشر شركات منتجة للقاح في الهند والصين وأندونيسيا والبرازيل تجهز لقاحاً حياً للروتافيروس عن طريق الفم. وقد حصلت شركة صينية فعلاً على الموافقة لبيع منتجها

تحديات المستقبل

إن توقع التوصل إلى لقاحات جديدة يثير الأمل في أن قبضة الروتافيروس سوف يتم كسرها قريباً. ولكن مازالت هناك بعض العقبات. لأن الكثير من صانعي القرار في الدول النامية لم يسمعوا حتى الآن عن الروتافيروس ولا يمكنهم فهم عواقبه المزعجة وقد

منابع القدرة المنمنمة

مع ظهور البطاريات (المدخرات) النانوية، بدأت منابع القدرة أخيراً بالانكماش لتلحق ببقية العناصر الإلكترونية.

(Q. Chao تشوي)

في التفاعل الكيميائي بمساعدة التبلل الكهربائي electrowetting انطلاقاً من سلوك القطيرة على سطح فانق الكراهية للماء، اقترح فكرة تتضمن صفوفاً من أعمدة فانقة الكراهية للماء، عرض كل منها من مرتبة النانومتر قادرة على أن تسلك سلوك التبلل الكهربائي. وتماثل هذه الأعمدة تحت المجهر حقلاً من «العشب النانوي» المجزوز جزراً منتظماً ويمكن صنع مثل هذا العشب النانوي بوساطة تقنيات صناعة الشيبات الميكروية النظامية، التي طورت عبر عقود لتعمل على السليكون. وعند تطبيق جهد على السائل، يمكن للعلماء إطلاق تفاعل يؤدي بالأعمدة لتصبح محبة للماء. ساحنة القطيرات نحو الأسفل كي تخترق الفجوات ما بين الأعمدة النانوية. عندئذ يمكن للسائل أن يتفاعل مع أي مركب يجثم في الأسفل وخطرت له «كروينكن» فكرة إمكان استعمال ذلك السائل ليولد قدرة في بطارية نانوية.

إن البطاريات في الأساس مفاعلات كيميائية. إذ تتكون البطارية الجاهزة القابلة للاستخدام عند الحاجة من مسيرين (الكترودين). أنود (مصعد) وكاثود (مهبط) في حمام من محلول كهربائيتي. وتتفاعل مركبات مادتي المسيرين معاً عبر الكهرليت لتولد إلكترونات. ولكن المشكلة هي حدوث هذه التفاعلات الكهركيميائية حتى عندما لا تكون البطاريات موصولة بأدوات فتخسر

وكانت الفكرة هي جعل أبحاث الشركة وما تطوره وما تقدمه من خدمات تصنيع النماذج الأولية في متناول باحثي الثقافة النانوية في الصناعة والهيئات الأكاديمية والحكومية. وقد بدأ «D» بيشوب» [نائب رئيس أبحاث الثقافة النانوية في مختبرات بل] بإلقاء محاضرات لباحثي الشركة كي يتبادلوا الأفكار حول كيفية إيصال أبحاثهم إلى تطبيقات مبتكرة تقدم لأعضاء الاتحاد كي يتابعوا تطويرها.

عمل «T» كروينكن» [أحد محاضري مختبرات بل] على العدسات الميكروية السائلة، ذلك النوع الذي يوجد عالمياً في الهواتف الحالية المزودة بكاميرات تتكون هذه العدسات من قطرات قادرة على تغيير خصائصها المخروطية (البؤرية) نتيجة تغير شكلها استجابة للجهد المطبق على السطح الذي تلامسه. يمكن لهذه السطوح، التي تسمى السطوح المبللة كهربيائياً electrowetting، استجابة لجهد كهربائي عطيق أن تنقلب من سطوح فانقة الكراهية للماء superhydrophobic إلى سطوح محبة للماء hydrophilic.

إن خاصية الكراهية الفانقة للماء هي التي تساعد حبات المطر على التدحرج فوق ريش البط وغرق أوراق اللوس. فالتوتر السطحي يجعل قطرات السائل تتكور. في حين أن السطح الصلب الذي ترقد عليه يطبق عليها قوى تجاذبية تشجع انتشارها عليه. فعلى سطوح المواد المحبة للماء مثل الزجاج، يمتد الماء عليها. لكن على المواد الفانقة الكراهية للماء، تتكور القطيرات تماماً. بحيث لا يظهر أي تفاعل محسوس مع هذه السطوح ثم بعلل كروينكن، أن بالإمكان التحكم

انكماش الترانزستور، الذي ظهر منذ عام 1947، من تكتل غير مشحوم يصل ارتفاعه إلى نصف بوصة إلى أداة يصل طولها إلى طول بضع مئات من الذرات فقط. وفي المقابل، تحسنت البطاريات (المدخرات) من حيث استطاعتها بمعدل يقارب واحد من خمسين تشغل حالياً مختبرات بل، التي صنعت أول ترانزستور، بإعادة اختراع البطارية. والهدف هو تطبيق التقنيات المستخدمة في تصنيع الترانزستورات لإنتاج - بالجملة - بطارية يمكن إدخالها مع الدوائر الإلكترونية الأخرى على شريحة تقلص هذه الأداة التي تسمى بطارية نانوية، تقاطيع مساريها (الكترواداتها) حتى السلم النانوي.

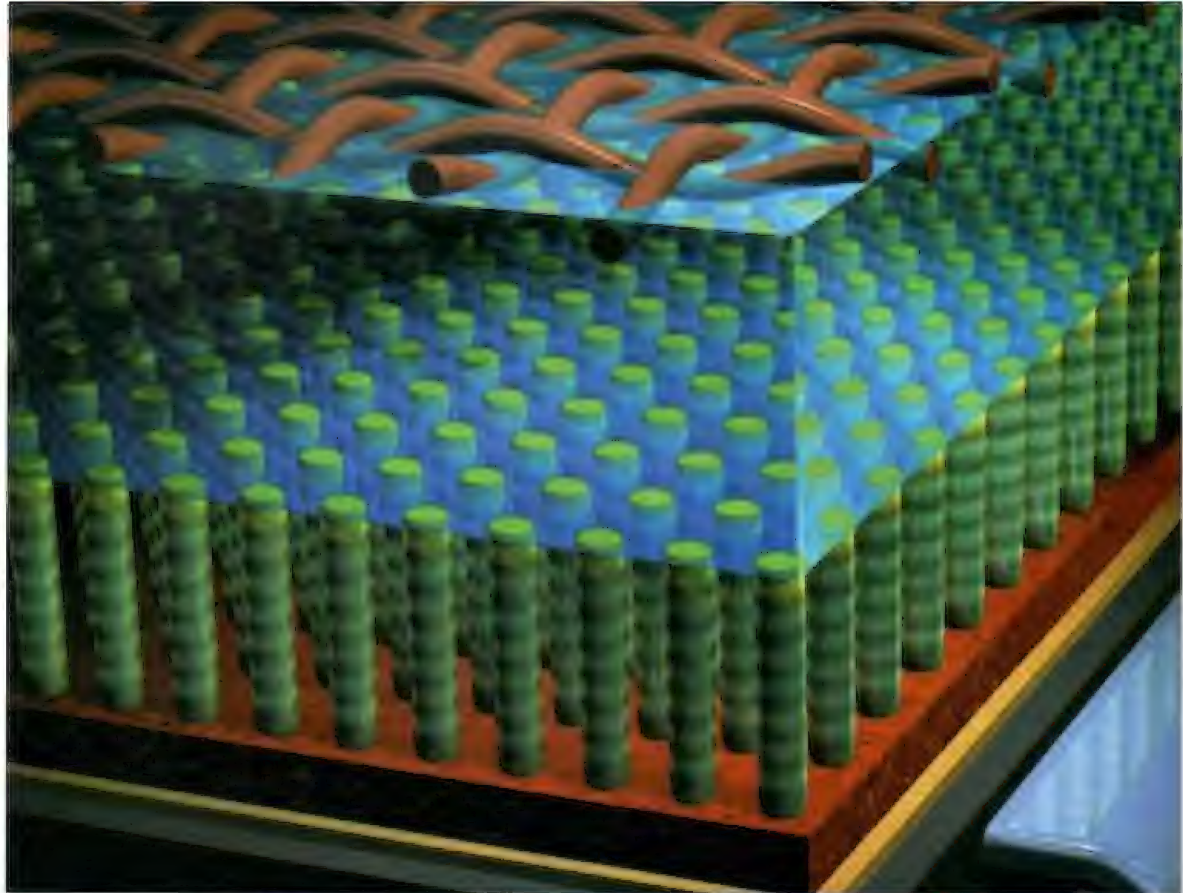
يمكن تصميم البطارية النانوية من إبقائها هاجعة لما لا يقل عن 15 سنة، ربما كمصنع طاقة لمحسن يراقب النشاط الإشعاعي أو لمحسن يتعقب تراكم الكيماويات السامة. بعدئذ تكون قادرة على أن تصحو وتعطي على الفور دفقة من الطاقة للعالية كذلك يمكن أن يفود المفهوم إلى أولى البطاريات القادرة على تنظيف مخلفاتها وذلك بتحديد بذور المواد الكيماوية السامة في داخلها وجعلها متعادلة.

تنمية عشب نانوي

تنبثق أصول البطارية النانوية من معاصرة مبكرة لمختبرات بل لاقتحام الثقافة النانوية في خريف عام 2002، كانت شركة تقانات لوسنت، الشريكة الأم لمختبرات بل، تحضر لتأسيس اتحاد نيوجرسي للثقافة النانوية بالمشاركة مع حكومة الولاية ومؤسسة نيوجرسي للثقافة

MINIATURIZED POWER
Growing Nanograss (100
inch 10
grip 10)

nanotechnology، يدفع البعض إلى تسمية النقلة المانوية باني نقابة تمكثنا من التحكم في المادة ومناولتها بمقاييس من مرتبة مئات النانومتر وما نونها. ولكن البعض الآخر يرى أن هذا التعريف فضفاض إلى حد ما (التحرير)



يتألف العشب النانوي من أعمدة عرض كل منها 300 نانومتر، بما يماثل أوراق العشب. وبشكل هذا مدخلا جديدا أصيلا لصنع بطارية عند إقحامه في بنيتها، فيمكن لها أن تُغذي المحلول الكهربائي السائل فوق العشب النانوي إلى أن يصبح منبع الغفيرة حاضرا للعمل.

البطارية وسطيا ما بين 7 و 10 في المئة من قدرتها كل سنة عندما لا تكون في الخدمة تسخّر ما يسمى بالبطاريات الاحتياطية

حواجز فيزيائية للحفاظ على انفصال الكهرليت عن الإلكترودات حتى تفعل البطارية، فتعطي التفاعلات الكهروكيميائية الهانجة الناتجة دفقة عالية من الطاقة. ويفرض التحدي الميكانيكي اللازم لابقاء الكهرليت بعيدا عن الإلكترودات اللجوء إلى بطاريات ضخمة غليظة، فتجد من ثم استخداماتها في الحالات الطارئة بصورة رئيسية. مثل وحدات العناية المركزة في المستشفيات (المشافي) أو في غرف العمليات، وفي تطبيقات عسكرية مثل نظارات الرؤية الليلية أو الإضاءة بالليزر لقد هيا اكتشاف العشب النانوي إمكان تصنيع بطاريات احتياطية تسهل منمنتها كثيرا. إضافة إلى ذلك، يشرح «كروينكن» بأنه يمكن للباحثين أن يصنعوا بطارياتهم لتفعل جزءا فقط من حقل العشب النانوي كل مرة، عوضا عن جعل كامل الكيمائيات تتفاعل مرة واحدة بدأت مختبرات بلّ بتسويق مفهوم

الرئيسي للشركة [إمفيز] - مع ما وصلت إليه عتاديات الاتصالات البعيدة لتصبح سوقا عادية للسلع - إلى أن يعيد طرح شركته كشركة مزودة للتقانة النانوية. وقد أراد على الخصوص أداة لا تحتاج إلى مدة طويلة جدا للتطوير وليس لها استعمالات طبية تحتاج إلى ربطها بالتجارب السريرية الإسعافية. ويمكن لها أن تخدم في سوق عسكرية مدعومة بأسعار أدوات التقانة النانوية ذات الأولوية التي تحكم سوق الإنتاج المبكر. فكانت «البطارية تلبي جميع هذه المطالب».

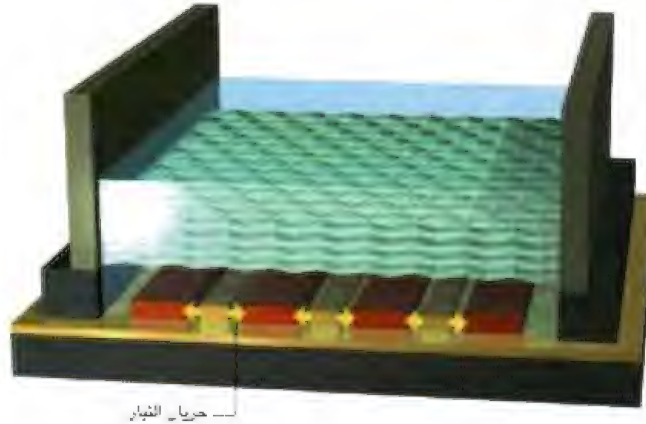
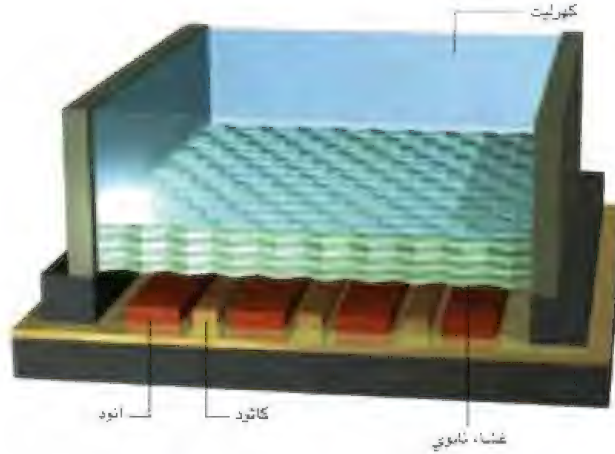
كما يوضح «سيمون» وفي الشهر 2004/3، وقّعت الشركة إمفيز اتفاقية تطوير مشترك لتسويق البطارية النانوية. ففي حين تتحرى إمفيز عما يريده الزبائن المحتملون من البطارية لتصمم أدوات مريحة، تؤمن الشركة لوسنت التراخيص اللازمة للتقانة مقابل حقوق الملكية وفوائد الغرفة النظيفة البالغة تكلفتها 450 مليون

العشب النانوي حول العالم ويقول «بيشوب» إن «الشركة لوسنت ليست شركة بطاريات لكنها ترغب في تطوير البطاريات تطويرا ثريا». وفي محاضرة القيت في أواخر عام 2003، استمعت شركة تدعى إمفيز mPhase إلى عرض من لوسنت حول البطاريات المعتمدة على التقانة النانوية وكما يتذكر «S سيمون» [نائب المدير التنفيذي للبحث والتطوير والهندسة في إمفيز] فقد تركنا غرفة المحاضرة قائلين هذا رائع وهذه صناعة مباركة كانت الشركة عندئذ شركة لتصنيع عناصر أجهزة فيديو DSI وأجهزة استقبال منزلية. متبقة عن الشركة نوروك Norwalk, Conn-based Microphase التي هي بدورها شركة إلكترونيات ميكروية الموجهة للصناعات العسكرية والفضائية وللاتصالات البعيدة.

لقد سعى «R دوراندو» [المدير التنفيذي

تصميم لبطارية نانوية⁽⁴⁾

تحافظ نسخة أولية لبطارية بنتها شركتا إيفيز ومختبرات بل بوساطة أغشية نانوية على الكهرليت مفصولة عن السريين (الإلكترودين) الموجب والسالب. أي المصعد (الأنود) وانحد (الكاثود). مما يعطي عمرا طويلا للبطارية. ففي الحالة البينية غير النشطة (الشكل العلوي) تقع المصاعد المصنوعة من الزنك والمهابط المصنوعة من ثاني أكسيد المنغنيز في رفق فوق أرضية البطارية. وهي منفصلة فيزيائيا بعضها عن بعض ويستقر فوقها غشاء مسامي يشبه قرص النحل. مصنوع من السليكون ويغطي بطبقة من ثاني أكسيد السليكون وبوليمر من فلوروكربون. وفوق هذا الحاجز يوجد المحلول الكهرليتي من كلور الزنك أما في الحالة النشطة (الشكل السفلي) فيحترق الكهرليت قرص النحل ليحرر بقع المصاعد والمهابط جميعها ويمجد اتصال المصاعد والمهابط غير الكهرليت. سيتفاعل بعضها مع بعض لتولّد كهرباء.



ترتكز عليها الأعمدة فكانت مغطاة بالزنك، في حين كانت الأعمدة نفسها مغطاة بثاني أكسيد السليكون. وهذا سمح للمختبرين التحكم في جهد الأداة. كما كانت رؤوس الأعمدة النانوية مغطاة بغطاء طبقة من الفلوروكربون المشابهة للتفلون، وهي التي تبدي سلوك التبلل الكهريائي.

يؤكد «كروينكن» أن الأشياء البسيطة فكريا صعبة في جعلها تعمل كما يجب. فقد شكل وضع الزنك فقط في الأسفل «تحديا هائلا يليه آخر». كما يتذكر. فلترسيب معادن في أمكنة محددة، يستخدم العلماء نمودجيا، عملية تدعى الطلي الكهريائي. ولكن الطلي الكهريائي لا يعمل مع الأكاسيد مثل ثاني أكسيد السليكون الموجود في أداة العشب النانوي. لذا كان عليهم إيجاد طريقة يطوعونها للوصول إلى أرضية السليكون متحررة من ثاني أكسيد السليكون، مما يسمح للزنك بالنمو عليها، وفي الوقت نفسه عليهم الإبقاء على الأعمدة مغطاة بالأكسيد. وكان على المحلول أيضا أن يطلي الأرضية السليكونية والأعمدة كليهما بالأكسيد مع جعل طبقة الأرضية هي الأرق، ثم يتمش الأكسيد لإزالة من الأداة كلها باستخدام غاز مؤين حتى يتخلص الأرضية من الأكسيد مع بقاء الأعمدة مغطاة به.

ومع ذلك فإن عملية الطلي الكهريائي لا تعمل على السليكون أيضا ولهذا استعمل الباحثون تقنيات الكيمياء الرطبة wet-chemistry لترسيب النيكل أو التيتانيوم على الأرضية كطبقة أساس (بذرة) حتى يلتصق الزنك من خلال عملية الطلي الكهريائي وقد احتاج إنماء طبقة الزنك نموا منتظما، بحيث لا توجد مرتفعات صغيرة من الزنك في بعض الأمكنة وعدم وجود الزنك في أمكنة أخرى، إلى جهود مضنية من المحاولة والخطأ اعتمادا على تعيير درجات الحرارة والتيارات الكهريائية والتراكيز الكيميائية. ويعلق «سيمون» قائلا «بالنظر إلى الورد. فإنني أتعجب كيف أن ذلك استغرق سنة واحدة فقط.»

بعد أن حصل العلماء على نسخة أولى prototype جاهزة للتشغيل، بدأوا بالحديث والتفاس مع زبائن محتملين. وقد حفزت هذه المناقشات إعادة تشكيل كاملة

على توليد تيار كهريائي وبغية الحصول على نسخة أولية. كان على الفريق إنشاء أعمدة سليكونية عرض كل منها قرابة 300 نانومتر ويبعد أحدهما عن الآخر قرابة ميكرونين وبغية توليد القدرة، وظّف الباحثون مركبات تستخدم عادة في البطاريات القلوية فمادة الأنود مصنوعة من الزنك ومادة الأنود من ثاني أكسيد المنغنيز. أما الأرضية السليكونية التي

دولار وكذلك مقابل الوصول إلى العلماء ذوي الخيرات في تصنيع السليكون التي تمتد إلى عقود

السعي لجعلها تعمل⁽⁵⁾

بحلول الشهر 2004/9. تمكن العلماء من الوصول في مختبرهم إلى نموذج عملي قادر

Design for A nanobattery (4)
Getting it to work (5)

للبطارية. إذ كان التصميم الأولي عبارة عن شظيرة يقع الكاثود في أعلاها، ومحلول الكهرليت من كلوريد الزنك في الوسط. والعشب النانوي في الأسفل والأنود في القاع. فقد أبدى مسؤولون من مختبر أبحاث جيش الولايات المتحدة في أديلفي قلقهم مما يسببه التماس الدائم ما بين الكهرليت وأي من المسريين من تفاعلات كيميائية غير مرغوبة. وبعد إعادة التصميم، نجد أن الكهرليت حاليا يقبع في الأعلى وتشغل مركبات الأنود والكاثود بقعا مفصولة فيزيائيا عند القاع، ويعطى حاجز سليكوني نانوي بينهما، فيمكن هذا الحاجز عند تفعيل البطارية من نفاذ الكهرليت ليغمر المساري.

استخدم الفريق في الأصل الأعمدة النانوية لفصل الكهرليت عن الأنود لأن الأعمدة احتلت أقل الحجم، مبدية سطوحا أكبر للتفاعلات الكيميائية بين هذه المساري. ولكن صعوبة تصنيع أعمدة البطارية النانوية المصممة دفع بالباحثين إلى تطوير غشاء على شكل قرص غسل نانوي لعزل الكهرليت عن المساري وإنشاء غشاء كهربياني التبلل ذي مسام على مدى 20 ميكرونا ورفيقا وجدران رهيقة سمكها قرابة 600 نانومتر كان أيضا تحديا كبيرا. فقد استعمل العلماء، في البدء، الپلازما لتنميش بنية قرص الغسل الرهيقة بدءا من رقائق سليكونية مغطاة بثنائي أكسيد السليكون، ثم قاموا بتنمية ثنائي أكسيد السليكون على جدران مسامات السليكون العاري في أفران سخنت حتى الدرجة 1000 سليزية شربت بالأكسجين وأخيرا طلوا قرص الغسل كاملا بالفلوروكربون.

لقد طور الباحثون أولى العينات المعاد تصميمها في الشهر 2005/10. إن إحدى أهم المزايا الكبيرة للمنظومة الجديدة هي أنها تساعد الفريق على تجنب الشروط الدقيقة والصعبة المطلوبة لنمو طبقة أنود منتظمة وسط غابة من الأعمدة النانوية كل مرة يراد اختبار تركيبات جديدة من الأنود والكاثود. وعوضا عن ذلك، يمكن للباحثين ببساطة وضع رزم المساري (البقع) على سطوح من دون معالم. في الوقت نفسه، فإن الخبرة التي اكتسبوها في الطلي الكهربياني تجعل إنشاء البقع أسهل

بكثير. كما يشير «سيمون». وتتعاون حاليا مختبرات بل والشركة إيفيز مع جامعة روتكرز في إدخال كيمياء البطاريات المعتمدة على الليثيوم التي توجد في الكاميرات الرقمية والهواتف الخلوية. قد تسمح البطارية النانوية أيضا باستخدام منبع طاقة أكثر صداقة للبيئة من مثيلاتها مما يتضمن مركبات تستطيع دفن الكهرليت. فيقول «كروينكن»: «إن ذلك سيحفظها من أن يتسرب

أن ترسل. لكنها إذا استشعرت ذلك فستحتاج إلى الكثير من الطاقة». كما يشرح «كروينكن» يمكن أن يكون الخيار الآخر لأدوات ترصد التغيرات البيئية لإرسال إشارات على مسافات واسعة مما يخفض عدد المحسّات اللازمة وقد تدخل بطاريات الطوارئ الاحتياطية أيضا في الزرع الطبية أو في الهواتف الخلوية أو في أطواق الإرسال الراديوية المركبة على الحيوانات الأليفة.

يفصل غشاء نانوي الكهرليت عن المساري (الإلكترونيات) في تصميم حديث للبطارية.

يبدأ الفريق حاليا بالنظر في نسخة من بطارياتهم القابلة لإعادة الشحن. فيمكن لنيسة تيار تمر عبر البطارية المستغدة أن تسبب تسخين السطح الذي يركز عليه الكهرليت، مما قد يؤدي إلى تحترق طبقة رقيقة من السائل مُجبرة القطيرات على القفز عائدة إلى قمة البنية النانوية. «إن هذا ممكن من حيث المبدأ، لكنه في الواقع بعيد المثال». كما يحذر «كروينكن»: إذ تتوقع الشركة إيفيز على سبيل المثال، الحصول على عينات منتجة لتزويد المتبين الآواتل في غضون سنتين أو ثلاث. وستوضح البطاريات النانوية كيف أن منابع القدرة بدأت أخيرا تلحق بثورة النعمة التي وجّهت لعقود صناعة عناصر الإلكترونيات الأخرى.

الكهرليت إلى الأرض أو يتسرب من البطارية إلى جسد الجندي، في حال إصابته». وقد تستعمل أيضا بنى نانوية بلاستيكية مكان السليكون، ممهدة بذلك الطريق إلى بطاريات نانوية مرنة. كما يقول «سيمون» لا يبحث العلماء عن بديل للبطاريات الحالية، مادام إنتاجها بالجملة «لا يكلف سوى أجزاء من السنتات لكل بطارية 0.88». كما يقول «كروينكن»، بل يهدفون عوضا عن ذلك، إلى تطبيقات أكثر خصوصية، مثل المحسّات التي تلقى من الطائرات العسكرية، التي تستعمل مرسلاتها الراديوية مرة أو مرتين فقط خلال عمرها. لترسل إشارة تنبئ بوجود دخلاء فضوليين، على سبيل المثال، أو وجود سميات أو إشعاع. «وإذا لم تر المحسّات أية إشارات ذات أهمية، ليس عليها

water (11)

المؤلف

Charles Q. Choi

هو كاتب له مساهمات متعددة في مجلة ساينتيك أمريكان

مراجع للاستزادة

From Rolling Ball to Complete Wetting: The Dynamic Tuning of Liquids on Nanostructured Surfaces. T. N. Krupenkin, J. A. Taylor, T. M. Schneider and S. Yang in *Langmuir*, Vol. 20, pages 3824-3827; May 11, 2004.

A film about one phase of development of the nanobattery is available at www.mphasetech.com/video/mphase.mov

A Novel Battery Architecture Based on Superhydrophobic Nanostructured Materials. Y. A. Lifton and S. Simon. www.mphasetech.com/nanobattery_architecture.pdf

Scientific American, February 2006

وهم الثقالة^(*)

لعلّ قوة الثقالة وأحد أبعاد الفضاء قد تولّدا
من خلال تلك التفاعلات الغريبة بين الجسيمات
والحقول الموجودة في عالم بأبعاد أقلّ.

د. مالك أسينا^(١)

تزاوج عسير^(٢)

تعتبر النظرية الكمومية للثقالة هدفاً جدياً في البحث عنه جيل كامل من الفيزيائيين نظراً لقدرة القوانين الكمومية على وصف جميع الظواهر الفيزيائية باستثناء الثقالة، مما يجعل الوصف الكمومي إطاراً شمولياً للنظريات الفيزيائية. لذلك فإنّ عدم اندراج نظرية الثقالة فيه يعدّ أمراً غير منطقيّ لقد نشأت النظرية الكمومية، التي بلغت من العمر 80 عاماً، لوصف سلوك الجسيمات والقوى في العوالم الذرية وبنوّن الذرية. ففي مثل هذه المستويات من الأبعاد تصبح التأثيرات الكمومية ذات أهمية إن الأجسام لا تمتلك مواضع أو سرعات محددة بموجب النظرية الكمومية وإنما يتم وصفها بدلالة احتمالات وموجات تشغل حيزاً من الفضاء. وفي العالم الكمومي، وعلى المستوى الأساسي يكون كل شيء في حالة تدفق دائم، ويشمل ذلك المكان الخاوي (الخلا)، الذي هو في الحقيقة مملوء بجسيمات افتراضية تظهر وتختفي من الوجود بشكل مستمر.

على النقيض من ذلك، فإنّ أفضل نظرية يمتلكها الفيزيائيون للثقالة، أي النسبية العامة^(٣)، هي كلاسيكية في جوهرها (أي غير كمومية). إن عمل أينشتاين البارز، والمتمثل

أن هناك ظاهرة مثيلة تحدث في الحياة اليومية، فالهولوكرام^(٤) عبارة عن شيء ثنائي البعد، ولكن عند النظر إليه في ظروف إضاءة مناسبة فإننا نرى صورة ثلاثية الأبعاد. إن جميع المعلومات القادرة على توصيف الصورة الثلاثية الأبعاد إنما تكون موجودة بشكل مشفّر في الهولوكرام الثنائي البعد، وبالمثل فإنه من الممكن، بموجب نظريات الفيزياء الحديثة، أن يكون الكون بجملته من نوع الهولوكرام.

إن الاهتمام بالوصف الهولوكرافي ليس مجرد أمر ذي طبيعة فكرية أو فلسفية؛ فالإجراءات الحسابية التي تكون صعبة في منظور معين قد تصبح سهلة نسبياً في المنظور الآخر، ومن ثم فإن بعض المسائل غير القابلة للمعالجة في الفيزياء يتأتى حلها بسهولة. على سبيل المثال، لقد أثبتت النظرية أنها مفيدة في تحليل إحدى النتائج التجريبية في فيزياء الطاقة العالية. إضافة إلى ذلك فإن النظريات الهولوكرافية تمثل طريقة جديدة للبدء ببناء نظرية كمومية للثقالة^(٥) - أي نظرية للثقالة تأخذ بالاعتبار مبادئ الميكانيك الكمومي وتعد النظرية الكمومية للثقالة مكوناً محورياً لأي جهد يهدف إلى توحيد جميع القوى في الطبيعة، وهي تلزم لتفسير ما يجري داخل الثقوب السوداء ولتفسير ما جرى في الأجزاء النانوية^(٦) الأولى التي تلت الانفجار الأعظم^(٧) Big bang. إن النظريات الهولوكرافية تزودنا بما قد يكون حلول تلك الألفاظ التي استعصت على الحل والمتعلّقة بفهم طبيعة النظرية الكمومية للثقالة.

هناك ثلاثة أبعاد مكانية مرئية حولنا - فوق/تحت، يمين/يسار، أمام/خلف، وإذا أضفنا الزمن إلى هذا الخليط (البعدي) ينتج مزيج رباعي الأبعاد من الفضاء والزمان يعرف بالزمكان space-time. ومن ثم، فنحن نعيش في كون رباعي الأبعاد أو ليس الأمر كذلك؟

ومما يدعو للدهشة أن بعض النظريات الحديثة في الفيزياء تتنبأ بإمكانية أن يكون أحد أبعاد المكان الثلاثة وهماً - أي إن الجسيمات والمجالات التي تصنع الواقع تتحرك في فضاء ثنائي البعد ومن الممكن كذلك أن تكون الثقالة^(٨) جزءاً من الوهم! أي إنها قوة غير موجودة في الفضاء الثنائي البعد وإنما تتصبّر^(٩) مع الظهور الوهمي للبعد المكاني الثالث.

وبصورة أكثر دقة، فإن هذه النظريات تتنبأ بأن عدد الأبعاد المكانية يعتمد على منظورنا للأمور؛ فمن الممكن للفيزيائيين أن يتصوروا الواقع على أنه يخضع لمنظومة من القوانين (التي من بينها قانون الثقالة التجاذبي) في فضاء ثلاثي الأبعاد أو، بصورة مكافئة، يتصورونه على أنه يخضع لمنظومة أخرى من القوانين في فضاء ثنائي البعد (يخلو من الثقالة) وعلى الرغم من الاختلاف الجذري بين المنظورين، فإنهما يتمكّنان من وصف جميع ما نراه وجميع البيانات التجريبية التي لدينا والمتعلقة بكيفية عمل الكون المحسوس. ولن تكون لدينا الوسيلة لمعرفة أحقية أي من المنظورين.

ولا شك أن هذا المشهد يشدّ الانتباه، مع

(١) THE ILLUSION OF GRAVITY

(٢) A Difficult Marriage

(٣) gravity

(٤) materialize

(٥) "Information in the Holographic Universe," انظر

by J. O. Bekenstein, Scientific American, August 2003

(٦) quantum theory of gravity

(٧) nanoseconds

(٨) انفجار كوني هائل

(٩) general theory of relativity



تماماً مثل الكواركات والكليونات في فيزياء الجسيمات المعيارية. أما القوانين الداخلية فهي عبارة عن نوع من نظرية الأوتار string theory وتتضمن قوة الثقالة التي من الصعب وصفها بدلالة الميكانيكا الكمومية ومع ذلك فالفيزياء على السطح وتلك في الداخل متكافئتان، مع أنهما تمثلان وصفين مختلفين بشكل جذري.

تربط النظرية الهولوكرافية بين مجموعة من القوانين الفيزيائية الصالحة داخل منطقة جسمية ما وبين مجموعة مختلفة من القوانين الفيزيائية الصالحة في السطح الحدي لهذه المنطقة. وقد مثل ذلك في الشكل بالعلاقة بين اللاعب الساحر وصورته الملونة الثنائية البعد. تتضمن القوانين الحدية جسيمات كمومية بشحنات لونية تتفاعل معاً

والطاقة بحرية
إن مشكلة إيجاد صياغة كمومية للنسبية العامة لا تكمن فقط في أن الجسيمات على مستوى الذرات والإلكترونات لا تمتلك مواضع وسرعات محددة، وإنما الأسوأ من ذلك أنه بموجب المبادئ الكمومية يصبح الزمكان ذاته على المستوى الأكثر دقة، أي في أبعاد يحددها ثابت بلانك 10^{-35} م، مثل الرغبة الهانجة شبيهاً ببحر الجسيمات

مثل الكواكب في حركتها حول الشمس ومن تعويض قيم هذه المواضع والسرعات (وكتل هذه الأجسام) في معادلات النسبية العامة يتم استخلاص انحناء الزمكان الذي يمكننا من معرفة تأثير الثقالة في مسارات الأجسام هذه وأكثر من ذلك فإن الفضاء الخالي أملس تماماً بغض النظر عن مستوى نفضنا له. فهو مسرح الأحداث الخالي من أي تجسّيدات والذي تعيش خلاله المادة

في النسبية العامة، يبين أن وجود المادة أو الطاقة يؤدي إلى انحناء الزمكان وأن هذا الانحناء يحرف مسارات الجسيمات، تماماً كما ينبغي أن يحدث للجسيمات في حقل تجاذب ثقالي. إن النسبية العامة نظرية جميلة، ومعظم تنبؤاتها قد تم التحقق منها بدرجة كبيرة من الصحة وفي نظرية معهودة كالنسبية العامة، نمتلك الأجسام مواضع وسرعات محددة،

الافتراضية التي تملأ الفضاء الخالي، وعندما تصبح المادة والزمكان بهذه الصورة فما الذي تنتج به معادلات النسبية العامة؟ الإجابة هي أن هذه المعادلات تصبح غير ملائمة في هذه الحالة، وهكذا يصل بنا افتراضنا خضوع المادة لقوانين الميكانيك الكوموي وخضوع الثقالة للنسبية العامة إلى تناقضات رياضية إن ما يلزم هو نظرية كمومية للثقالة (أي نظرية للثقالة تنضوي في الإطار الكوموي).

وفي معظم الحالات لا يشكل التناقض المشار إليه بين الميكانيك الكوموي والنسبية العامة مشكلة، لأنه في أغلب

هنا تتضح ضرورة صياغة نظرية كمومية للثقالة لوصف هذه البداية. وكذلك فإن هذه النظرية تلزم لفهم ما يحدث في مركز الثقوب السوداء: إذ إن المادة هناك تكون قد سحقته وتموضعت في منطقة من الزمكان بانحناء كبير جدا. ولأن الثقالة تتضمن انحناء الزمكان فمن الضروري أن تكون النظرية الكمومية للثقالة نظرية كمومية للزمكان أيضا: أي إنها ينبغي أن توضح مم تتكون الرغبة الزمكانية المشار إليها قبل قليل، ومن ثم فإن هذه النظرية ستزودنا بمنظور جديد كلياً لطبيعة الزمكان عند

من الممكن لنظرية كمومية للثقالة أن تزودنا بمنظور جديد عن ماهية الزمكان.

ندري كيف نستخلص العديد من الكميات الفيزيائية من هذه المعادلات. وفي السنوات الأخيرة، تمكن فيزيائيو الأوتار من التوصل إلى نتائج مهمة ومثيرة بخصوص قدرة نظرية الأوتار على توضيح ماهية الزمكان الكوموي. ولن أتأول نظرية الأوتار بتفصيل كبير هنا^(١) وإنما سأركز الضوء على واحد من أهم التطورات الحديثة التي نجمت عن الأبحاث المتعلقة بنظرية الأوتار والتي أدت إلى وصف كمومي للثقالة مكتمل ومتربط منطقياً فيما يُعرف بالزمكان ذي الانحناء السالب، وهي فكرة تُطرح لأول مرة

أدق المستويات للواقع.

إن نظرية الأوتار التي بدأ بعض الفيزيائيين النظريين باستكشافها منذ سبعينات القرن الماضي تعد مقارنة واحدة لنظرية ثقالة كمومية، لكنها تتغلب على بعض العقبات التي يواجهها مشروع صياغة نظرية كمومية للثقالة مبنية بشكل منطقي ومستناغم. ولكن نظرية الأوتار مازالت في مرحلة البناء وليست مفهومة تماماً حتى الآن. فنحن الفيزيائيين النظريين نعرف فقط المعادلات التقريبية التي تحكم سلوك الأوتار ولا نعرف هذه المعادلات بشكلها الدقيق. أيضاً فنحن لا نعرف ما هي المبادئ الأساسية الموجهة التي ستسمح بتفسير شكل المعادلات، ولا

الحالات تكون إما التأثيرات الكمومية أو التأثيرات الثقالية صغيرة جداً، بحيث نستطيع إهمال أحد النوعين من التأثيرات أو التعامل معه بصورة تقريبية. ولكن عندما يكون انحناء الزمكان كبيراً تصبح الاعتبارات الكمومية للثقالة ذات أهمية. ومثل هذا الانحناء الكبير يستلزم تركيزاً كبيراً جداً للكتلة، أي كتلة ضخمة لإحداثه، بحيث إن الانحناء الناجم عن كتلة الشمس يعد صغيراً جداً مقارنة بالانحناء الذي تبرز عنده التأثيرات الكمومية للثقالة.

ومع أن هذه التأثيرات مهمة تماماً في الوقت الحالي فقد كانت ذات أهمية كبيرة في بداية الانفجار الأعظم، ومن

وتبدو النظريات الهولوكرافية صحيحة مثل هذا النوع من الزمكان

الزمكان ذو الانحناء السالب^(٢)

إننا معتادون على الهندسة الإقليدية، حيث المكان مستو وليس منحنياً، وهي هندسة الأشكال المرسومة على ورقات مستوية. وهذه الهندسة تصف، بدرجة عالية من الدقة، العالم المحيط بنا، فالخطوط المتوازية لا تتلقي، وجميع مسلماتها الأخرى صحيحة

ونحن معتادون كذلك على بعض الفضاءات المنحنية. وهناك نوعان من الانحناءات: الموجب منها والسالب. وسطح الكرة يعد مثلاً لأبسط الفضاءات ذات الانحناء الموجب. فللكرة انحناء موجب وثابت، بمعنى أن درجة انحنائها ثابتة عند جميع المواضع على السطح (وليس كسطح البيضة مثلاً الذي يزداد انحناءه عند طرفيها.)

ومن أبسط الفضاءات ذات الانحناء السالب الفضاء الزائدي (الهذلولي المقطع) hyperbolic space، وهو بالتعريف الفضاء ذو الانحناء السالب والثابت وقد شد هذا النوع من الفضاءات اهتمام العلماء والفنانين على

Overview / Equivalent Worlds (٢٠)
Negatively Curved Spacetimes (٢١)

(١) انظر "The string Theory Landscape," by Raphael Ousso
(٢) Joseph Polchinski, Scientific American, September 2004

نظرة إجمالية/ عوالم متكافئة^(٣)

- بموجب نظرية لأفنة للنظر، فإن كوناً موجوداً في فضاء ثنائي البعد وبدون ثقالة قد يكون متكافئاً تماماً لكون ثلاثي الأبعاد يتضمن الثقالة. فمن الممكن للكون الثلاثي الأبعاد أن ينبثق عن الكون الثنائي البعد بصورة مماثلة لانبثاق الصورة الهولوكرافية من الهولوكرام.
- يوجد الكون الثنائي البعد على حدود الكون الثلاثي الأبعاد. وتدعو الفيزياء عند السطح كما لو كانت كواركات ولبونات متفاعلة مع بعضها بقوة. أما في الفضاء الداخلي، فتتضمن الفيزياء نظرية كمومية للثقالة - وهو أمر شبيه بما يحاول فيزيائيو الأوتار string theorists عمله منذ عقود.
- يزودنا هذا التكافؤ بطريقة جديدة لفهم خصائص الثقوب السوداء، التي تستلزم مزيجاً ملائماً من النظرية الكمومية والثقالة. ومع أنه لم يتم البرهان بالدقة اللازمة على الرياضيات المتعلقة بهذه النظرية، فإنها تبدو مفيدة في تحليل نتائج تجربة حديثة في فيزياء الطاقة العالية.

حدّ سواء لقد أنتج C M+ إيشير العديد من الأشكال الجعيلة لهذا النوع من الفضاءات يظهر أحدها في هذه الصفحة، وصورته تماثل خريطة مسنوبة للفضاء إن الكيفية التي تبدو بها السمكة أصغر فأصغر هي مجرد نتاج صناعي لتمثيل الفضاء المنحني على رقيقة مستوية، ويشبه ذلك كيفية تمدد وتمطط البلدان القريبة من القطب عند تمثيلها بخريطة مستوية للكرة الأرضية

ويتضمن الزمان في هذا السياق، يستطيع الفيزيائيون، بشكل مماثل، دراسة الزمكان ذي الانحناء الموجب والسالب، وبسيط أنواع الزمكان ذي الانحناء الموجب يعرف باسم فضاء دوستر de Sitter Space وذلك تقديراً للفيزيائي الهولندي W+ دوستر الذي أدخل هذا المصطلح. ويذهب معظم علماء الكون إلى أن الكون في مراحله المبكرة جداً كان قريباً في شكله الزمكاني من هذا الصنف من الفضاءات ومن الممكن كذلك أن يكون الكون بالشكل ذاته في المستقبل البعيد بسبب التسارع الكوني. وبشكل معاكس، إن أبسط أنواع الفضاءات من نوات الانحناء السالب يدعى فضاء ضديد دوستر anti-de Sitter space، والذي يشبه الفضاء الهذلولي hyperbolic Space باستثناء، أن له اتجاهاً زمنياً أيضاً وعلى النقيض من الكون الذي نعيش فيه، والذي يتمدد، فإن فضاء ضديد دوستر هذا لا يتمدد ولا يتقلص وإنما يبدو بالهيئة ذاتها في جميع الأزمنة ومع هذا الاختلاف فإن الفضاء النقيض هذا يبدو مفيداً في بناء مشروع نظريات كمومية للزمان والفضاء.

وإذا ما مثلنا الفضاء الزائدي كقرص، وذلك باتّباع طريقة «إيشير» المشار إليها قبل قليل، فإن فضاء ضديد دوستر سيبدو كما لو كان أقراصاً متراصة مشكلة أسطوانة صلبة (انظر الإطار في الصفحة 72) حيث يدلّ المحور الموازي لطول الأسطوانة على اتجاه الزمان وكما أنه من الممكن للفضاء الهذلولي أن يكون له أكثر من بعدين مكانيين فإننا نتوقع أن يمتلك فضاء ضديد دوستر، والأكثر قرباً لزمكان كوننا ذي الأبعاد المكانية الثلاثة، طبيعة إيشير بأبعاد ثلاثة كمقطع عرضي لأسطوانته.

إن للفيزياء في فضاء ضديد دوستر خصائص غريبة فمثلاً لو كنت تطفو بحرية أينما تريد في هذا الفضاء فإنك ستشعر كما لو كنت



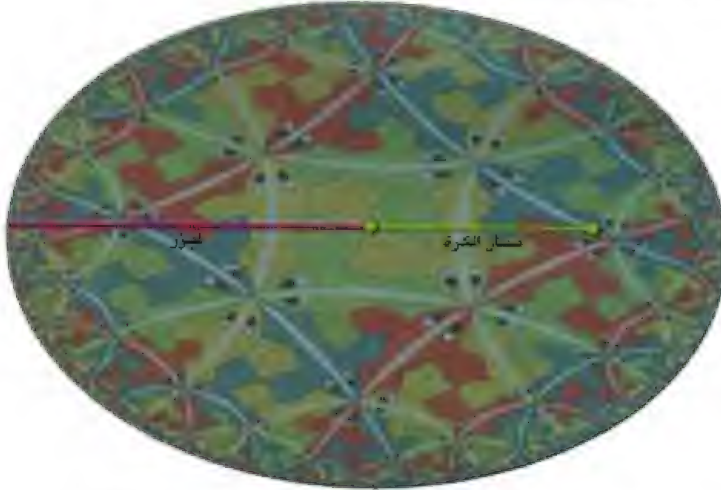
يمثل رسم إيشير في الشكل (في الأعلى) الفضاء الزائدي (الهذلولي) hyperbolic space. وفي الواقع إن لكل سمكة الجرم ذاته، والحد الدائري ذو بعد لاستثناء عن المركز، إن عملية إسقاط الفضاء الهذلولي الحقيقي على شكل صورة كما في هذا الرسم تؤدي إلى حشر الأسماك البعيدة لأشواط الفضاء اللامتناهي في الحجم فيشبع له داخل الدائرة المحددة والمنتهية الحجم يكون المكان منحنيًا بشكل كبير عند غياب عملية الإسقاط واثّر الحشر. ويمثل الشكل في الأسفل الصورة الحقيقية لأي مقطع عرضي حيث يبدو كسرج الفرس له عدة طبقات.



الفضاء ذو الانحناء السالب^(١٤)

تتضمن النظرية الهولوكرافية فضاء بانحناء سالب يعرف باسم فضاء ضدبد دوستر

تحليل أقراصا من الفضاء الزائدي متراصة بعضها فوق بعض. ويمثل كل قرص حالة الكون في لحظة معينة تمثل الأسطوانة المتولدة فضاء ضدبد دوستر بأبعاد ثلاثة. حيث يمثل الزمن بالبعد الموازي لارتفاع الأسطوانة تعمل الفيزياء بشكل عريب في هذا الفضاء. فالجسيم (ككرة التنس التي تبدو بالخط الأخضر) المقذوف بعيدا عن المركز دائما ما يستغرق الفترة الزمنية ذاتها للارتداد، وشعاع من الليزر (الخط الأحمر) يستغرق الفترة الزمنية ذاتها في الوصول إلى حدود الكون والارتداد إلى موضع الانطلاق. وهي النسخة المائلة للفضاء الرباعي الأبعاد. والذي هو أكثر شبيها بكوننا تكون الحدود عند كل لحظة على شكل كرة وليس على شكل دائرة



نسختين لعرض سينمائي واحد، إحداهما مخزنة على فيلم بمقاس 70mm والأخرى مخزنة على قرص DVD. إن شكل تخزين العرض يختلف في الحالتين جذريا، حيث إن أحدهما عبارة عن شريط خطي من السليوليد يمثل كل إطار فيه مشهدا من العرض كما نعرفه، فيما الشكل الآخر عبارة عن أسطوانة ثنائية البعد بحلقات من النقاط المصغطة والتي كانت ستشكل متتالية من بقات الصفر 0 والواحد 1 فيما لو استعنا بملاحظتها

ومع ذلك فإن كلا الشكلين يصف العرض السينمائي ذاته وبالمثل فإن النظريتين المختلفتين ظاهريا في المضمون تصفان الكون ذاته. إن القرص DVD يبدو كقرص معدني بلمعان قوسقزحي rainbow pattern وكذلك فإن نظرية الجسيمات الحديثة (عند الحدود) تبدو كما لو أنها نظرية للجسيمات بغياب الثقالة وكما أن الصور

محدودة ومتناهية وهذه الحدود تشبه المحيط الخارجي لطبقة إيشر أو سطح الأسطوانة الصلبة التي سبق وأشرنا إليها. في مثال الأسطوانة يكون للحدود بعدان، يمثل أحدهما المكان (البعد الدائري حول الأسطوانة) ويمثل البعد الآخر الزمان (المحور الموازي لطول الأسطوانة). وفي فضاء ضدبد دوستر الرباعي الأبعاد يكون لحدوده بعدان مكانيان وبعد واحد للزمان. وتامما مثلما حدود طبقة إيشر عبارة عن دائرة، تكون حدود فضاء ضدبد دوستر عند أية لحظة زمنية كرة. وعند هذه الحدود يأتي دور الهولوكرام في النظريات الهولوكرافية

ببساطة، تكمن الفكرة الأساسية في أن النظرية الكمومية للثقالة داخل زمكان فضاء ضدبد دوستر تكافئ تماما نظرية كمومية اعتيادية لحسبمات تعيش على حدود هذا الزمكان وإذا كان هذا صحيحا فإننا نستطيع استخدام النظرية الكمومية للجسيمات (والفهمه جيدا نسبيا) لتعريف نظرية كمومية للثقالة (غير المفهمه بعد) وعلى سبيل المقارنة تحيل أن لديك

في قاع بئر ثقالية، وأي جسم تقذفه سيرند إليك سريعا. ومما يدعو للدهشة أن الزمن اللازم لعودة الجسم إليك لا يعتمد على سرعة القذف، وإنما يكمن الفرق بين سرعات القذف المختلفة في أن الجسم المقذوف بسرعة أكبر سيبتعد عنك أكثر قبل عودته. وفيما لو أرسلت مضعة ضوئية تتألف من فوتونات تسير بأقصى سرعة ممكنة (سرعة الضوء)، فإنها ستصل إلى المآل النهائية ثم تعود إليك خلال فترة زمنية منتهية ومحدودة. ومن الممكن لهذا الأمر أن يحدث لأن الجسم يعاني تقلصا في الزمن بمقدار كبير إلى الدرجة التي نريدها كلما ابتعد عنك أكثر فأكثر

الهولوكرام

إن لفضاء ضدبد دوستر، مع كونه لامتناهيا، حدودا توحد في المآل النهائية. ولتمثيل هذه الحدود على الرسم يستخدم الفيزيائيون والرياضياتيون مقياسا للطول غير منظم يشبه ذلك المستخدم في رسم إيشر المذكور آنفا. مما يمكنهم من حشر المسافة اللامتناهية في الكبر ضمن مسافة

Negatively Curved Spacetime (١٤)
The Hologram (١٥)
Infinity (١٦)

ابتكار بعد

إن النظرية الهولوكرافية تبيّن كيف يمكن للكواركات والكليونات المتفاعلة مع بعضها مع بعض والتي تعتبر على حدود فضاء، ضديد دوستر أن تكون مكافئة لحسيمات تعيش في الفضاء الداخلي ذي الأبعاد الأكثر عدداً



تتفاعل الكواركات والكليونات عند السطح الكروي لفضاء، ضديد دوستر لتشكّل أوتاراً كل منها بسنك مصغّر. وتفسّر هذه الأوتار بموجب النظرية الهولوكرافية هو أنها تمثل في الفضاء الداخلي جسيمات أولية (وهي أيضاً عبارة عن أوتار)، حيث يعبر سمك كل واحد منها عن بعده عن الحد



ومن ثم فإن غيوماً من الكواركات والكليونات عند السطح تمثل أجساماً مفعّدة في الفضاء الداخلي (مثل النفاحة المبيبة في الشكل). إن ميزة هذه النظرية الهولوكرافية تكمن في أن الأجسام في الفضاء الداخلي تخضع لقوى الثقالة مع أنه لا وجود للثقالة على السطح

تبرّر فقط عند المعالجة الصحيحة للبيانات في حالة DVD، فإن الثقالة الكمومية وبعداً إضافياً آخر يبرزان في نظرية الجسيمات الحديثة عند التحليل الصحيح لمعادلاتها

ما المقصود بتكافؤ النظريتين في الواقع الفعلي؛ أولاً يكون لكل كمية في إحدى النظريتين كمية مقابلة في النظرية الأخرى. وهاتان الكميتان قد تكونان مختلفتين كثيراً من جهة كيفية وصفهما ضمن النظريتين فكمية ما في النظرية الداخلية قد تصف جسيماً واحداً من صنف ما يعيش في الداخل، فيما تقابلها في النظرية الحديثة كمية تصف مجموعة من الجسيمات من صنف آخر. وثانياً فإن تنبؤات الكميات المتقابلة ينبغي أن تكون متماثلة ولذا فإذا كان احتمال تصادم جسمين هو 40% في الداخل فإن احتمال تصادم المجموعتين المقابلتين من الأجسام في النظرية الحديثة سيكون أيضاً 40%

وهنا سنعرض التكافؤ بإيضاح أكثر إن الجسيمات الموجودة على الحد تتفاعل بطريقة شبيهة جداً بالطريقة التي تتفاعل بها الكواركات والكليونات (الكربونات) quarks and gluons. وتمتلك الكواركات نوعاً من الشحنات يُعرف باسم الألوان، فيما يدعى تفاعل القوة النووية الشديدة باسم الكروموديناميك الكمومي (التحريك اللوني الكمومي) quantum chromodynamics. يمكن الاختلاف بين الجسيمات الموجودة على الحد وبين الكواركات والكليونات في أن هذه الجسيمات تمتلك عدداً كبيراً من الألوان وليس ثلاثة فحسب.

لقد قام «G» نهوفت» [من جامعة أوترخت في هولندا] بدراسة مثل هذه النظريات منذ عام 1974، وتنبأ بأن الكليونات عبارة عن سلاسل تسلك سلوك الأوتار في نظرية الأوتار string theory. وقد بقيت الطبيعة الدقيقة لهذه الأوتار غير واضحة حتى عام 1981 عندما لاحظ «M» بولياكوف» [الذي يعمل في جامعة بريستون] أن هذه الأوتار تعيش في فضاء بأبعاد أكثر من الفضاء الذي تعيش فيه الكليونات، وكما سنرى بعد قليل، ضمن النظريات الهولوكرافية، فإن هذا الفضاء ذا العدد الأكبر من الأبعاد عبارة عن

بشكل كبير إن هذا يعني أن الأوتار تتصرف كما لو كانت منفصلة عن بعضها مكانياً ومن ثم فإننا نستطيع النظر إلى سمك الأوتار كما لو كان يمثل بعداً مكانياً جديداً يتجه بعيداً عن الحدود

وهكذا فإن وترًا رقيقاً على الحدود يمثل وترًا قريباً من الحدود، فيما الوتر

Conjuring A Dimension (١١)

١١. الكواركات هي مكونات البروتونات والنيوترونات والكليونات تولد القوة النووية الشديدة التي تربط الكواركات معاً

الفضاء الداخلي لفضاء، ضديد دوستر وحتى نفهم من أين يأتي البعد الإضافي، دعونا نبدأ باعتبار أحد أوتار الكليونات التي تقع على الحدود إن لهذا الوتر سمكاً، ويرتبط هذا السمك بمقدار انتشار الكليونات المكونة له بالفضاء، وعندما يحسب الفيزيائيون كيف تتفاعل وتتأثر هذه الأوتار الموجودة على حدود فضاء، ضديد دوستر مع بعضها، فإنهم يحصلون على نتيجة غريبة جداً وهي أن وترين بسمكين مختلفين لا يتفاعلا معاً

تفاعل بها الجسيمات الحدية، إلى تنوع في النظريات الداخلية (التي تصف داخل الفضاء) ومن الممكن للنظرية الداخلية أن تتضمن فقط قوى ثقالة، أو قوى الثقالة إضافة إلى قوى أخرى مثل القوة الكهرومغناطيسية. وهكذا، ولكن لسوء الحظ فنحن، حتى الآن، لا نعرف أية نظرية حدية ينتج منها نظرية داخلية تتضمن بالضبط القوى الأربع المعروفة في هذا الكون

لقد ارتأيت وبحثت (ولا أنه من الممكن لهذه المقاربة الهولوكرافية أن تكون مناسبة لنظرية خاصة (كروموديناميكا مبسطة في فضاء حدي للزمكان الرباعي الأبعاد) وذلك في عام 1997. وسرعان ما أثارت هذه الرؤية اهتماما عظيما في وسط المهتمين بالنظرية الوترية. وقد تمت صياغة هذا التخمين وهذه الرؤية بصورة أكثر دقة من قبل «بولياكوف» و«S.S. جويسر» و«R.I. كليبانوف» (من جامعة برينستون) و«E. ويت» (من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون بولاية نيوجيرسي). ومنذ ذلك الحين أسهم العديد من الباحثين في استكشاف هذه الرؤية وتعميمها لتشمل أبعادا أخرى ولتشمل أيضا نظريات كروموديناميكية أخرى، مما يضيف أدلة بارزة على صحتها، ومع ذلك لم تتم البرهنة الصارمة على أي مثال لكون الرياضيات اللازمة في منتهى التعقيد.

الغاز الثقوب السوداء^(١١)

كيف سيسهم الوصف الهولوكرافي للثقالة في تفسير اعتبارات تتعلق بالثقوب السوداء؟ من المتوقع للثقوب السوداء أن تصدر إشعاع هوكينغ Hawking radiation. المسمى كذلك نسبة إلى مكتشفه «S. هوكينغ» (من جامعة كامبريدج) وينبعث هذا الإشعاع من الثقب الأسود عند درجة حرارة معينة وهناك نظرية تدعى الميكانيك الإحصائي تفسر درجة الحرارة بدلالة المكونات المجهرية لجميع النظم الفيزيائية المعتادة وهذه

Understanding Black Holes (••)
Mysteries of Black Holes (•••)

عام 1974 أن النظريات الوترية دائما ما تقود إلى الثقالة الكمومية ولا تمثل الأوتار التي تكونها الكليونات شذوذاً عن هذا، إلا أن الثقالة تعمل في فضاء ذي أبعاد أكبر وبهذا فلا تكون المقاربة الهولوكرافية مجرد إمكانية جديدة قوية لنظرية كمومية للثقالة. بالأحرى، وبشكل أساسي، إنها تربط ما بين نظرية الأوتار (المقاربة الأكثر الفعالة لصياغة نظرية كمومية للثقالة) وبين نظريات الكواركات والكليونات (وهي الأركان الرئيسية في فيزياء الجسيمات الأولية) وأكثر من ذلك، يبدو أن النظرية الهولوكرافية تقدم الأفكار الخلقة وتضيء الطريق نحو

التخمين يماثل وتراً بعيداً عن الحدود (انظر الإطار في الصفحة 73). وهذا البعد الإضافي هو بالضبط البعد ذاته الذي يلزم لوصف الحركة داخل فضاء ضدبد دوستر الرباعي الأبعاد من منظور مراقب في الزمكان فإن الأوتار الحدية (الواقعة على الحدود) ذوات السمك المختلف تبدو كما لو أنها أوتار (كلها رقيقة) متموضعة في أمكنة مختلفة في الداخل (بُعدها عن المركز مختلف) إن عدد الألوان على الحد يحدد حجم الداخل (والذي بدوره يتحدد بنصف قطر كرة إيشر Esher-like sphere)



لقد حيرت الفكرة التي جاء بها «S. هوكينغ» الفيزيائيين وتنص هذه الفكرة على أن للثقوب السوداء درجة حرارة، وأنها تصدر إشعاعاً أيضاً. ذلك أن درجة الحرارة عبارة عن خاصية لمجموعة من الجسيمات، ولكن ما هي المجموعة التي تكون الثقوب السوداء؟ تقدم النظرية الهولوكرافية إجابة لهذا السؤال ببيان أن الثقب الأسود يكافئ تجمعا من الجسيمات المتفاعلة فيما بينها على السطح الحدي للزمكان

المعادلات الدقيقة لنظرية الأوتار، التي تم ابتكارها في أواخر ستينات القرن الماضي بهدف وصف تفاعلات القوة النووية الشديدة strong interactions، مع أنه تم الاستغناء عنها (لهذا الغرض) عند دخول الكروموديناميكا chromodynamics هذا الميدان إن المطابقة بين النظرية الوترية والكروموديناميكا تدل أن هذه الجهود المبكرة لم تكن خاطئة وإنما يعبر كل من الوصفين عن وجه مختلف من العملة ذاتها. يؤدي تغيير نظرية الكروموديناميكا على الحدود، وذلك بتغيير الكيفية التي

وحتى نحصل على فضاء زمكاني بحجم الكون المرئي فإن على النظرية أن تتضمن 10^{26} لون. وينتج أيضاً (من النظرية) أن أحد أنواع الكليونات يسلك في الزمكان الرباعي الأبعاد كما لو كان كرافيتونا (جذبوتاً) graviton. وهو الجسيم الكمومي للثقالة ففي هذا الوصف تكون الثقالة في الفضاء الرباعي الأبعاد ظاهرة منبثقة عن تفاعل الجسيمات في عالم ثلاثي الأبعاد بخلو من الثقالة. إن وجود الكرافيتونات في النظرية لا ينبغي أن يثير الدهشة - حيث أدرك الفيزيائيون منذ

النظرية تفسر درجة حرارة زجاجة من الماء، كما تفسر درجة حرارة الشمس، وماذا بشأن درجة حرارة الثقب الأسود؟ حتى تتمكن من فهم ذلك ينبغي أن تعرف ماهية مكونات الثقب الأسود المجهرية وكيفية سلوك هذه المكونات وحدها، النظرية الكمومية للثقالة تستطيع فعل ذلك. لقد أفرزت بعض اعتبارات نرموديناميك الثقوب السوداء شكوكا حول أي إمكانية

ينبغي أن تكون للكواركات والكلبيونات التي تتفاعل مع بعضها بشدة عند درجات الحرارة المرتفعة لزوجة قليلة جدا. ومن الممكن التحقق من هذا التنبؤ للنظرية من مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية في مختبر بروكهافين الوطني، الذي تتم فيه مصادمة نوى الذهب بعضها ببعض عند الطاقات العالية. وقد بينت النتائج الأولية لهذه التجارب أن التصادم يولد مانعا ذا لزوجة

بخصوص النظريات الهولوغرافية بحاجة إلى إجابات عنها وعلى وجه الخصوص، هل هناك أي شيء شبيه يحدث في كون شبيه بكوننا. كالذي يحدث في فضاء ضديد دوستر. هناك اعتبار جوهري في فضاء ضديد دوستر، وهو أن له حدودا يكون فيها الزمن معرّفا بشكل جيد. وهذه الحدود وجدت وتستتمر إلى الأبد أما في كون يتمدد، مثل كوننا، ابتداء وجوده من الانفجار

حتى الآن لم يبرهن على أي مثال للمطابقة الهولوغرافية وذلك للصعوبة الفائقة للرياضيات المتعلقة بذلك.

لتطوير نظرية كمومية للثقالة فقد بدا كما لو أن الميكانيك الكمومي ذاته تتوقف صلاحيته عند دراسة التأثيرات التي تحدث في الثقوب السوداء. ولكننا بفضل النظرية الحديثة، نعلم حاليا أن الميكانيك الكمومي يبقى صحيحا عند دراسة ثقب أسود في فضاء ضديد دوستر. فمثل هذا الثقب الأسود يقابل تموضعا لجسيمات على حدود هذا الفضاء. وعدد هذه الجسيمات كبير جدا، وهي تتحرك باستمرار، الأمر الذي يمكن النظريين من تطبيق القواعد المعتادة في الميكانيك الإحصائي لحساب درجة الحرارة. وقد تبين أن النتيجة التي نصل إليها بهذا الأسلوب تتطابق مع تلك التي وصل إليها «هوكينغ» باتباع أسلوب آخر، مما يعزز ثقتنا ببنائنا هذه والأمر الأهم هو أن النظرية الحديثة تنسجم مع الميكانيك الكمومي من دون أن تبرز أية تناقضات.

قليلة جدا ومع أن «صن» وزملاءه قاموا بدراسة صورة مبسطة للكروموديناميك، فالذي يبدو أنهم انتهوا إلى خاصية موجودة في العالم الواقعي. فهل يعني ذلك أن مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية يولد ثقوبا سوداء خماسية الأبعاد؟ في الواقع، من الميكانيك الإجابة عن هذا السؤال، سواء كانت الإجابة تجريبية أو نظرية (وحتى لو كان الأمر كذلك، فلا يوجد ما نخشاه من هذه الثقوب السوداء الصغيرة، لكونها تتبخّر تقريبا فور توليدها، وكونها أيضا توجد في فضاء خماسي الأبعاد وليس في فضاءنا ذي الأبعاد الأربعة.) ومع ذلك تبقى هناك أسئلة عديدة

الأعظم فليس له مثل هذه الحدود ذات السلوك الجيد وبالتبعية فليس واضحا كيف يمكن تعريف نظرية هولوغرافية لكوننا؛ إذ لا يوجد مكان ملائم لوضع الهولوغرام ومع ذلك فالدرس المهم الذي نتعلمه من التخمين والرؤية الهولوغرافية هو أنه من الممكن للثقالة الكمومية، التي حيرت بعض أفضل العقول على سطح الكوكب لعقود عدة، أن تكون سهلة جدا عند معالجتها بدلالة المتغيرات المناسبة. دعونا نأمل في أن نجد وصفا سهلا للانفجار الأعظم في القريب العاجل. ■

المؤلف

Juan Maldacena

أسناد في مدرسة العلوم الطبيعية التابعة لمعهد الدراسات المتقدمة في برنستون بولاية نيو جيرسي. وقبل ذلك كان يعمل في قسم الفيزياء بجامعة هارفرد وذلك بين عامي 1997 و 2001 وهو يقوم حاليا بدراسة ظواهر عدة متعلقة بفكرة الثقوبية duality، التي ختمها أولا، والموصوفة في هذه المقالة. وقد أعجب فيزيائيو الأوتار بهذه الفكرة في مؤتمراتهم عام 1998، حيث إنهم احتفوا به ماغنية تحمل اسمه (مالداسينا) أنشأها على إيقاع الأغنية الشهيرة ماكارينا

وقد استخدم الفيزيائيون المقابلة الهولوغرافية أيضا باتجاه معاكس - حيث استثمروا معرفتهم ببعض الخصائص المعروفة للثقوب السوداء داخل الزمكان لاستنتاج سلوك الكواركات والكلبيونات عند درجات حرارة عالية جدا عند الحدود. فمثلا قام «D صن» [من جامعة واشنطن] وزملاؤه بدراسة كمية تدعى لزوجة القص shear viscosity، وهي صغيرة لمانع يسري بسهولة ولكنها كبيرة لمادة لزجة مثل الدبس. وقد وجد هؤلاء أن لزوجة القص هذه للثقوب السوداء صغيرة جدا وأنها أقل من مثيلتها لأي مانع معروف. ونتيجة للتكافؤ الهولوغرافي فإنه

مراجع للاستزادة

- Anti-de Sitter Space and Holography. Edward Witten in *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*, Vol. 2, pages 253-291, 1998. Available online at <http://arxiv.org/abs/hep-th/9802150>
- Gauge Theory Correlators from Non-Critical String Theory. S. Gubser, I. R. Klebanov and A. M. Polyakov in *Applied Physics Letters* 8, Vol. 428, pages 105-114, 1998. <http://arxiv.org/abs/hep-th/9802109>
- The Theory Formerly Known as Strings. Michael J. Duff in *Scientific American*, Vol. 278, No. 2, pages 54-59, February 1998.
- The Elegant Universe. Brian Greene. Reissue edition. W. W. Norton and Company, 2003.
- A string theory Web site is at superstringtheory.com

Scientific American, November 2005

تقنيات

الاختبار الأقصى للدم⁽¹⁾

طريقة مكلفة لتحديد احتمالات المخاطر الصحية. تحليل 250 اختبارا دفعة واحدة.

العينات إلى شركة بيوفيزيكال Biophysical. لقد وعدت الشركة [ومقرها في أوسن، عاصمة ولاية تكساس] باستخدام الدم للتحري عن السرطانات قبل ظهور أعراضها عن السرطانات المحتملة pre-symptomatic cancers potential immune disorders والمناعة المختلة والعنوي الكامنة واضطرابات التوازن الهرموني غير المكتشفة undetected hormonal imbalances وحالات العوز الغذائي غير المتبعة unrecognized nutritional deficiencies. يبدو أن المراد من ذلك رسم ونرسيه خطوة متقدمة نحو رحلة النجوم الخيالية Star Trek التي بدأ الدكتور «ماكوي» يلح إليها حول أداة تشبه المخلصة kiltshaker device يمكنها تحديد الأسرار الطبية للشخص المضموض («ضربات القلب جميعها مضطربة، قياس حرارة الجسم هي كذا... يا «جيم»، إن هذا الرجل لديه كذا وكذا بلغة الكينجون Klingon»).

إن تقييم نتائج اختبار البيوفيزيكال Biophysical 250 حسب ما تسميه الشركة، يتطلب أكثر من مجرد هذه المجموعة من الاختبارات؛ فهو يحتاج إلى مقابلة المريض لتحري تاريخه الطبي، مع زيارة خاصة إلى منزله أو مكتبه لأخذ عينة من دمه (كان علي أن أبقى أو أصل إلى بيتي، حيث أحفظ فعليا بالسكر)، ومتابعة المشاورة الطبية. وإن جميع هذه المتطلبات من الرعاية لن تكون رخيصة، فهي تكلف ثلاثة آلاف وأربعمئة دولار أمريكي، وهي ليست مشمولة بالضمان الصحي. لقد بينت الشركة أن إجراء كل فحص بمفرده سيكلف المراجع أكثر من تكلفته الحالية بعشرة أضعاف، وهكذا فإن اختبار البيوفيزيكال 250 يصبح رخيصا جدا مقارنة بالتحاليل التقليدية؛ ومع ذلك فستبقى بحاجة إلى دخل متاح لتدفع تكلفتها، أو اللجوء إلى رب (أو أرباب) عملك ليدفع عنك تكاليف هذه الاختبارات. وبالنسبة إلي فإنني لم أقم في أي من هاتين الفتحتين لأنني كنت

من الشراب الغازي الخالي من السكر. لقد كان الأمر مثيرا للسخرية حقاً. فقد اعتدت تناول الشراب الغازي النظامي (المحلى). ثم تحولت إلى تناول الشراب الحالي من السكر. بعد أن أظهرت اختبارات الدم أن مستوى عيار الكليسيريدات الثلاثية triglycerides مرتفع جدا عندي.

ولذلك كان الشعور المضطرب أنيا يتعلق بالثمن المادي المقبول لإجراء 250 اختبارا دفعة واحدة، وكنت قد أخبرت أن إجراء مثل هذه الاختبارات مفردة، كل اختبار وحده، باستخدام الطرق التقليدية يتطلب لثرا كاملا من الدم، فتخيل ما سيحل بي من شعور بالدوار والاعنتلال والغثيان فيما لو تم ذلك. وكما مرة يجب عليّ فك كم قميصي لأخذ هذه

عندما بدأت الدوخة بالتلاشي والغثيان بالزوال تابعت التفكير في مسألة كيف أن مقدار ملعقتي طعام من الدم لا يمكنه أن يماثل بآية حال حجما عظيما منه. فأتت الفحص الدوري المنتظم يأخذ طيبجي من دمي عينة ذات حجم يعادل نصف تلك الكمية فقط وافترضت أنه عليّ أن أعرف، وبخاصة بعد مرور 12 ساعة من الصيام، أنني قد أصبح عليلا إذا ما انخفض مستوى الجلوكوز في دمي، وأني سأعتبر نفسي عندئذ متبرعا للدم بشكل مروع وفق ذلك المعيار.

تفرست الممرضة التي أخذت عينة من دمي في أرجاء مكنتي باحثة عن شراب حلو، ثم سألتني: «هل لديك أي من الصودا أو العصير؟» ولكن لم يكن لدي إلا علبة صغيرة



حس قنبينات (خبايات)، تعادل ملعقتي طعام، هي كل ما يلزم للحصول على نتائج اختبار البيوفيزيكال 250

THE ULTIMATE BLOOD TEST (1)

من الذين يقومون بتقييم منتجات شركة بيوفزيكال. وقد وافقت هذه الشركة على إجراء الفحص لي مجاناً

يركز التحليل على الواسمات البيولوجية للدم، وهي مواد كيميائية قد يدل وجودها أو مقدارها على حدوث سيرورات أو تفاعلات شاذة في الجسم ومن أكثرها شهرة تلك المتعلقة بالأوعية القلبية وهي البروتين الشحمي المرتفع الكثافة (HDL) والبروتين الشحمي المنخفض الكثافة (LDL) (ويمثلان الكوليسترول الجيد والكوليسترول السيئ) والكليسيريدات الثلاثية

وقد يبدو تحري منتين وخمسين واسما **بيولوجيا** biomarkers دفعة واحدة ضرباً من الإسراف وأكثر من اللازم: إذ يتم الفحص الروتيني بتحري نحو دزيتين dozens أو ثلاث من هذه الواسمات، وعلى أية حال فإن النظر في تحليل واسم بيولوجي واحد بشكل منفصل لا يعطي في العادة معلومات غنية ذات دلالة خاصة. فمثلاً، إن نسبة البروتين الشحمي LDL إلى البروتين الشحمي HDL أكثر أهمية من قيمة كل منهما وحده. وإن اختبار البيوفزيكال 250 يذهب أبعد من ذلك: فلتقييم احتمال خطورة الإصابة بمرض القلب والحدوث الوعاني الدماغى (السكتة stroke)، تحلل الشركة ثلاثة وثلاثين واسماً بيولوجياً. وإن تحري وفحص واسمات بيولوجية متعددة سوية يحسن من احتمال كشف المشكلات مبكراً، وبخاصة الأمراض الخبيثة malignancies

ولأتزال الاختبارات الدموية الخاصة بكشف السرطانات تمثل مسألة إشكالية، لأن أشخاصاً أصحاء قد ينتجون انماطاً ومقادير من الواسمات البيولوجية كالتى ينتجها المصابون بالسرطانات والأكثر من ذلك أن هذه المواد الكيميائية قد لا تظهر دائماً في تحاليل مرضى السرطان. كما أنها قد تظهر في حالات ليس لها علاقة بالسرطان. ويتحرى اختبار البيوفزيكال 250 قرابة أربع دزينات من المواد الكيميائية في الدم المرتبط وجودها بالنشاط السرطانى عموماً. وذلك بقية زيادة احتمال كشف المرض في مرحلة كونه وقبل ظهور أعراضه

وكمثال، في سرطان المبيض ovarian cancer الذى يشخص متأخراً جداً في العادة، تشير شركة بيوفزيكال إلى أن المستضد السرطانى 125 cancer antigen وهو الواسم

الأكثر شيوعاً في المعايرة لكشف هذا السرطان، يظهر لدى نصف عدد المصابين به في المرحلة الأولى فقط، عندما يكون نجاح المعالجة أكثر احتمالاً. ولذلك يحاول اختبار البيوفزيكال 250 تعزيز فرصة الكشف المبكر عن خلال معايرة مركبات بيولوجية مستقلة أخرى، مثل عامل النمو البطاني الوعائى vascular endothelial growth factor والإنترلوكين 6 interleukin 6 والبروتين الجاذب الكيميائى للخلية الوحيدة monocyte chemoattractant protein «إن مجرد قيامنا بتكيس العديد من الواسمات البيولوجية يعنى فعلاً أننا نقلل من حدوث نتائج إيجابية موهمة (زائفة)». هكذا قال «M شاندلر»، المدير التنفيذى ومؤسس شركة بيوفزيكال

لقد صممت الشركة بشكل أساسى اختبارات الدم المعايرة بحيث تكون ذات حجم صغير. فاستغنوا عن الأبار الميكروية الحجم (وتقاس بالميكرو لتر microliter) واستبدلوا بها خرزات من مادة البوليستيرين polystyrene beads الأصغر حجماً منها. إذ يبلغ حجم كل خرزة ما يعادل نصف حجم الكرة الحمراء، ويغلف سطح كل كرة خرزة بأحد الأضداد النوعية الخاصة ويمزج مصبل العينة الدموية مع الخرزة ما بين 15 و 30 دقيقة، بحيث يسمح للأضداد antibodies بأن تثبت على البروتينات التى تتعرفها وتميزها. وبعد أن يشطف المصل بالغسل، يتم ادخال أضداد أخرى من طاقم المجموعة ذاتها في التحليل ومع ذلك وفي أثناء، هذا الوقت يكون لكل ضد قارئ (علامة) متعلق fluorescent tag يكشفه وتقوم الأضداد ذات القارئ بالتثبيت على بروتينات الدم المثبتة سابقاً بالمجموعة الأولى من الأضداد كالشطيرة. وهكذا يقدم فحص الفوائف المتألفة «فكرة» عن كمية المادة الكيميائية التى تم سحبها من المصل. هكذا يشرح «شاندلر» الذى بدأ بتسويق اختبار البيوفزيكال 250 منذ السنة الماضية (2005)، ما يحدث في عمليات الكشف.

لقد وصل تقريرى بعد أسبوعين بطريق البريد السريع وقد تضمن ملخصاً مكتوباً بدقة عالية، إضافة إلى تقرير مختبرى كمى. مع كتيب ثان يحدد جميع الواسمات البيولوجية والعلل المتعلقة بها. ويلغة الصحة فإن القسم الأكثر فائدة هو الملخص المتعلق بالواسمات البيولوجية المنظمة بحسب نمطها المناعى

الذائى، السرطانى، القلبى الوعائى. توسيع الخلية cell signaling، السكرى، الصعائى endocrine، الدمويتات، المناعة/التهاب، الأمراض العوائية، التغذية، أجهزة الأعضاء، والفصال العففى osteoarthritis. ويوجد بجانب كل واسم بيولوجى كود لوني يعقد على ما إذا كان المقدار المكتشف خارج المجال الطبيعى: فيدل اللون الأخضر على أن احتمال الخطر منخفض، low risk، ويسدل اللون الأصفر على وجود «محذور» caution ويذل اللون الأحمر على وجود «إنذار بالخطر» alert. ولقد وصل التقرير مع نسخة منه لإعطائها إلى طبيي الشخصى، وتقوم شركة بيوفزيكال بمناقشة النتائج مع الطبيب المراجع ومؤخراً وردنى أيضاً مكالمة هاتفية استشارية من رئيس الشركة «C» ورجز، وطبيب الشركة المختص بالقلب والأوعية حول نتائج اختبارات الدم الخاصة بي

لقد كانت نتائج اختباراتى الدموية طبيعية غير مقلقة، إذ جاء معظم هذه الاختبارات باللون الأخضر. وقد كانت المفاجأة الوحيدة هي الزيادة الطفيفة في المجال الطبيعى لقدر الفرتين feritin، وهو البروتين الذى يخزن الحديد. وقد حذرنى التقرير بأن فرط حمل الحديد هذا يمكن أن يكون دالة على وجود حالة وراثية تدعى داء ترسب الأصبغة الدموية hemochromatosis، ويتطور هذا المرض بصمت ويمكن أن يسبب مستويات سمية من الحديد، بحيث يترسب في الأعضاء. أما المعالجة فهي بسيطة وتكون بالتبرع بالدم على نحو منظم للتخلص من فائض الحديد ومن جهة أخرى، يمكن أن يعكس مستوى الفرتين عندي حقيقة أنني كنت فيما مضى أتناول دواء متعدد الفيتامينات multivitamin مع الحديد، واكتشفت لاحقاً أن ذلك ليس صحيحاً بتاتا بالنسبة إلى الأشخاص الأصحاء، وهذا مما سأبحثه مع طبيي

وفي هذا الموضع لا يد من الإشارة إلى أكذوبة بأن هناك قوة عظيمة لاختبار البيوفزيكال 250 من حيث أنه يستطيع الكشف عن الأمراض المصيبة قبل أن تظهر أعراضها، وعادة لا يطلب الأطباء إجراء فحص لها. لقد أبلغت الشركة في إحدى الدراسات غير المنشورة التى أجريت على 120 مراجعاً، وجود اختطارات صحية health risks رئيسية لدى 15 منهم، ووجود اختطارات معتدلة لدى 27 آخرين منهم، ولم

النتمة في الصفحة 79 (العمود 3)

عروض ومراجعات كتب

إيفوديقو (علم الأجنة التطوري) هو المصطلح الحديث المعبر عن...
... أبحاث عمرها مئتا عام للربط بين الأجنة والتطور



THE NEW SCIENCE
OF EVO DEVO

ENDLESS FORMS
MOST BEAUTIFUL

SEAN B. CARROLL

**Endless Forms Most Beautiful: the
New Science of Evo Devo And The
Making of The Animal Kingdom**
by Sean B. Carroll
W. W. Norton, 2005

عدد لانتهائي من أشكال بالغة
الجمال: العلم الجديد إيفوديقو
وبناء عالم الحيوان



متشابهة من تحرك الخلايا تُنتج أشكال الأجنة وأجهزتها العضوية. لقد أحاط بهذه الوحدة من التنامي الجنيني وفي الواقع، يمكننا أن نقول إن إيفوديقو (الذي كان يعرف حينذاك باسم علم الأجنة التطوري) قد يزغ عندما استنتج «دارون» أن دراسة الأجنة ستزودنا بأفضل دليل للتطور

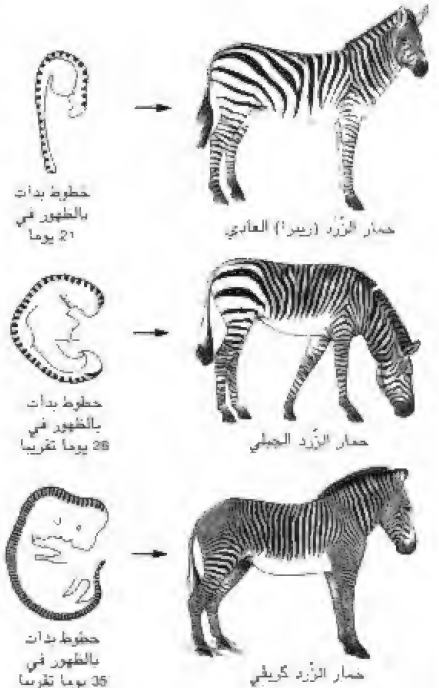
وقد أعطيت بصيرة «دارون» أساساً نظرياً، واكتسب إيفوديقو أولى نظرياته، عندما اقترح «ارنست هيجل» أنه مادام الفرد يستعيد خلال تاريخ حياته ontogeny (التنامي development) تاريخه التطوري phylogeny، إذاً يمكن دراسة التطور في الأجنة. وهذه التقدمات التقانية في عمل القطاعات النسيجية وصيغها التي تزامنت في ستينيات وسبعينيات القرن التاسع عشر، مكّنت البيولوجيين من مقارنة أجنة الكائنات المختلفة وعلى الرغم من أن نظرية «هيجل» غير صحيحة في شكلها الصارم، فقد أغرت معظم علماء الشكل الظاهري على ترك دراسة الكائنات البافعة إلى دراسة الأجنة - وحرفياً: البحث عن التطور في الأجنة حقاً إن التاريخ بعيد نفسه: فبعد مئة عام تأسست نظرية عن كيفية تصميم جسم ذبابة الفاكهة واقتدرت بتقدمات تقانية أدت إلى الجانب الجيني لعلم الأجنة التطوري إيفوديقو الذي قام بتقييمه «كارول» مؤلف الكتاب.

وكما ذكر «كارول» في كتابه (الذي

ويبحث كتاب «عدد لانتهائي من الأشكال البالغة الجمال»، واحداً من أكثر الأوجه إثارة في علم الأجنة التطوري (إيفوديقو)، وهو دمج البيولوجيا الجزيئية التي أدت إلى اكتشاف طوائف من الجينات المنظمة regulatory (نمائية أو محوكة switching) المحفوظة: جينات هوميوبوكس homeobox أو هوكس Hox. ولقد صاغ «كارول» [استاذ الوراثة في جامعة وسكنسون - ماديسون] الكتاب بأسلوب مفعم بالحيوية، متبلاً إياه بأسئلة غاية في السحر وموضحة توضيحاً جميلاً برسوم وصور فوتوغرافية عادية وملونة ولكي ندرك المكان الذي يحتله هذا الكتاب الحديث للإيفوديقو على التاريخ الطويل لهذا الفرع من المعرفة، نحتاج إلى العودة إلى الزمان متتي عام تقريباً

ولقد ازدهرت دراسة المراحل الجنينية عبر عالم الحيوان - أي علم الأجنة المقارن - منذ عام 1830. ومن ثم، عندما ظهر كتاب «أصل الأنواع» عام 1859، كان «تشارلز دارون» يعرف أن أجنة جميع اللافقاريات (الديدان وقنأط البحر وجراد البحر) والفقاريات (الأسماك والشعابين والطيور والثدييات) تتشارك في مراحل جنينية شديدة التشابه بما يعني أنها حُفظت على هذه الصورة خلال التطور، حتى إنه يمكن إطلاق الأسماء نفسها على مراحل متكافئة في كائنات مختلفة. ولقد عرف «دارون» أيضاً أن التكوين الجنيني الأباكر يَبْنَى على أساس طبقات متماثلة من الخلايا وأنماط

سوف يكون من الصعب تخيل مقياسي زمن إضافيين مختلفين في حياة الكائنات الحية غير التناسلي development - أي تحول جنين إلى فرد باقٍ في جيل واحد - والتطور - أي تحول الكائنات وتغيرها بين الأجيال التي تعود إلى 600 مليون عام مضت؛ ومع ذلك تسأل فلاسفة الطبيعة وعلماء الشكل الظاهري والبيولوجيون، خلال القرنين الماضيين، هل هناك علاقة جوهرية بين التناسلي (تاريخ حياة الكائن الفرد ontogeny) والتطور (تاريخ تطور النوع phylogeny) نعم توجد علاقة، وقد وجدت التعبير عنها في هذا الفرع المزدهر من المعرفة: بيولوجيا التنامي التطورية «إيفوديقو». كما أطلق عليه منذ يواكير التسعينات



قد تنتج الأعداد المختلفة للخطوط في ثلاثة أنواع من خمار الزرد zebra من الاختلافات في الوقت الذي يبدأ فيه تكوين الخطوط في الجنين.

تظهر لدى أي منهم أية علامة أو عرض يدل على وجود أي حالة مرضية. وتتضمن هذه الحالات المرضية التهاب المفاصل الروماتويدي وتصلب الجلد scleroderma وقصور الغدة الدرقية hypothyroidism. وتتحرى الشركة فقط عن العلل القابلة للمعالجة، في حين تتجنب تلك التي تعد قاتلة بالتأكيد. وهكذا حتى الآن، فإن حالات التكنس العصبي neurodegenerative مثل داء الزهايمر Alzheimer's disease، ستكون مستثناة. ولكن «شاندلر» يضيف بأنه يمكن للشركة أن تجري اختبارات مثل هذه العلل «فيما لو كانت هناك طريقة تغطي المرض أو تعيق ترقيه».

كانت نتائج اختبار البيوفزيكال 250 الخاصة بي محدودة الفائدة، لأنها تعكس حالتي الصحية في 2006/1/10، الساعة 9:30 صباحاً. أي عندما أخذت عينة الدم مني. ولكن التغيرات البيوكيميائية مع مرور الزمن قد تظهر الكثير حول الحالة الصحية للشخص. ولكن بمقارنة التكلفة التي تعادل تكلفة شاشة تلفزيون من نوع البلازما المسطحة العملاقة، فإن اختبار البيوفزيكال 250 ليس ميسوراً مادياً تماماً حتى لو أجري مرة واحدة كل عامين. أفلا تستطيع الشركة استبعاد بعض الاختبارات؟ أعني هل احتاج فعلاً إلى إثبات أنني لست مصاباً بطفيليات داء النوم الإفريقي، علماً بأنني لم أزر إفريقيا إطلاقاً؟ أو هل احتاجُ كذكرٍ إلى معرفة أنه لا يوجد عندي حالة حمل (حبل)؟ يقول «شاندلر» إن اقتلاع بعض الخزعات لن يكون ذا مردود cost-effective، مع أن وجود بعض الدزينات من الواسمات البيولوجية قد يكون كافياً لتحديد أكثر الأمراض شيوعاً، ما يسمح بالحصول على التقييم بتكلفة أقل. إنه يرغب بالحصول على بيانات من 10 000 مراجع قبل تقليص عدد الواسمات البيولوجية (إنه يتوقع قرابة 1500 زبون هذا العام). ولكن الشركة قد تتجه اتجاهاً آخر وتؤسس لاختبار البيوفزيكال 300، حيث ستكشف التحريات بوساطة هذا الاختبار عن واسمات بيولوجية أكثر. وبالتأكيد سيكون مشجعاً لهذا الاختبار فيما لو هبطت تكلفته ومادام لا يحتاج إلى عينة دم خجمها أكثر من ملعقتي طعام. ■

Ph. يام>

تحتوي المعلومات الأساسية المطلوبة لتكوين عين ذبابة أو يد إنسان ويستكشف النصف الآخر من الكتاب ما يطلق عليه «كارول» «صنع تنوع الحيوان». بدءاً من حياة الحيوان كما مُثلت في الأحافير (المستحاثات) الشهيرة بحق، التي وجدت في طَفْلة بارجس Bargess Shale بكمولومبيا البريطانية، والتي يصل عمرها إلى 500 مليون سنة. وقد عُني «كارول» بتلاعب التطور بالحوالات الوراثية وإنتاج الأنماط في الطبيعة - يقع على أجنحة الفراشة وخطوط على حمار الزرد المخطط. ولقد أعطى المؤلف اهتماماً أقل بشلالات الجينات وشبكاتها التي تسمح لجينات تائشير متشابهة بأن تنشئ مثلاً جناح طائر أو ذراع إنسان. وكذلك كان اهتمامه قليلاً بالخلايا والعمليات الخلوية التي تكوّن الأشكال اللانهائية ومن ثم، فإن تعبيرات مثل «في الواقع إن تشريح أجساد الحيوانات مكود ومشيد بوساطة كوكبات من المحولات منتشرة وموزعة في الجينوم كله»، يمكن أن تؤخذ لتعني أن الجينات المحولة تحوي جميع المعلومات المطلوبة لتوليد شكل ما. ولو أن هذا كان صحيحاً لما كانت هناك حاجة إلى الإيثوديفو، بل الواقع إنه لم يكن هناك تنام على الإطلاق؛ إذ يجب أن يكون الأمر كله جينوايفو. لكن، كما يوضح «كارول»، يحدث تطور الشكل خلال تغيرات في التنامي، ولهذا بالضبط كان لعلم إيثوديفو وضعه المحوري في فهم كيف تتكوّن الحيوانات وكيف تتطور. ■

zebra (1)

المؤلف

Brian K. Hall

هو استاذ كرسي S. G. كاسيل للبيولوجيا، واستاذ جامعي باحث في جامعة دلهارزي بهاليانكس وهو مؤلف كتاب «بيولوجيا التنامي التطوري» Evolutionary Developmental Biology، والعظام والغضاريف البيولوجيا التكوينية والتطورية للجهاز الهيكلي» Bones and Cartilage. Developmental and Evolutionary Skeletal Biology من بين كتب أخرى، وسحرر مشاركون S. G. هالجريسون» لكتاب «التغاير مفهوم أساسي في البيولوجيا» Variation: A Central Concept in Biology (نحت الطبع)

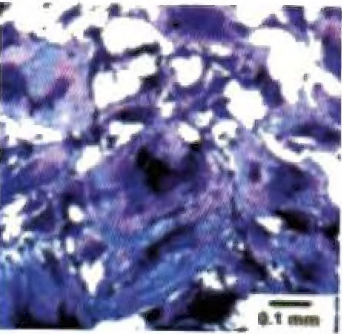
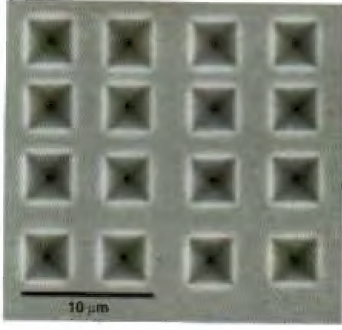
أقتبس عنوانه من السطور الأخيرة من كتاب أصل الأنواع)، فإن اكتشاف الوراثة المتدلية في عام 1900 الذي تلاه سريعاً اكتشاف الجينة باعتبارها وحدة الوراثة. قد بدأ إسفيناً بين التنامي والتطور. إذ أصبحت الجينات من جيل إلى جيل. وهكذا تم فصل علم الأجنة عن التطور، أي إيثو devo عن إيثو evo. فحتى اكتشاف طبيعة الدنا بدوره في الخمسينات لم يردهما إلى الاجتماع معاً. ومع ذلك بدأ كل هذا بالتغير في أواخر السبعينات حين تسببت ثورات عديدة في الجانبيين النظري والتفاني في نقلة فكرية مفاجئة ومثيرة، مثل تلك التي تلت «أصل الأنواع» ل«داروين».

فقد أعادت طرق جديدة لتوليد علاقات الأنساب الفيلوجينية phylogenetic علم الأجنة المقارن إلى الصدارة، ونحن نستطيع حالياً تقييم اتجاه التغيرات التطورية في التنامي. فعندما نجد نوعاً من الضفادع قد فقد طور أبي ذنبية من دورة حياته - وهو غير تطوري في الشكل والوظيفة لافت للنظر - نستطيع أن نحدد هل هذا الفقد كان حدثاً باكراً أو متأخراً في تطور الضفادع. وقد أشعل كتاب «S. G. كولد» تاريخ حياة الفرد وتاريخ تطور النوع Ontogeny and Phylogeny (1977) جذوة الاهتمام من جديد في علم الأجنة التطوري في القرن التاسع عشر، وبعث فكرة قديمة - التغاير الزمني heterochrony، تغير في توقيت التنامي في نسل ذي صلة بسلف له - في شكل يمكن اختباره. ولما بلغت هذه الأوجه من التقدم من الأهمية، رُفِعَ لواءها ضد الحكمة السائدة عندئذ بأن الكائنات تختلف لأنها تمتلك جينات متفردة لا توجد في كائنات أخرى - جينات جراد البحر لجراد البحر وجينات الإنسان للإنسان. وهكذا.

ولقد حوّل اكتشاف جينات هوميوبوكس هذه المقاربة رأساً على عقب وباطناً لظهر. إن تصميم الجسم في حيوانات جراد البحر والبشر، والذباب والأسماك، والبرنقليات والفئران، يبدأ باستخدام عائلات الجينات نفسها والتي حفظت عبر عالم الحيوان. ويحتوي النصف الأول من الكتاب على تواع هذا الاكتشاف، الذي يصف فيه «كارول» جينات هوميوبوكس على أنها المحولات التي

حوار الخلايا

مستودعات نانوية على شبيبة تنبئ الخلايا الجذعية بما يجب عليها فعله.



يمكن لصفيحات سيليكونية (الصورة العليا) أن تنكمش لتصبح بأدوية الأبعاد، على أمل أن تنمو الخلايا الجذعية في التجاويف، ويبدو أن السيليكون لا يزغج الخلايا الحدية، فتنشئ بسهولة تامة فوق تلك المادة (الصورة السفلى)، وقد لونت الخلايا باللون الأرجواني

يمكن للخلايا الجذعية أن تتحول إلى أي نمط خلوي يأمرها الجسم به. ولكن ما يؤسف له أن العلماء لم يتقنوا بعد اللغة التي يستعملها الجسم في مخاطبته تلك الخلايا. ويأمل باحثون في جامعة ستانفورد أن يحلوا قريبا رموز تلك اللغة في «غرف ثرثرة» باللغة الصغر خاصة بالخلايا الجذعية.

ففي وسطها الطبيعي، تكون الخلايا الجذعية محاطة بضروب من الحبران، تُنقل إليها رسائل كيميائية في نقاط محددة بدقة وفي لحظات خاصة جدا ويكمنات محسوبة تماما، كي توجه تناميها لتتمايز إلى نمط خلوي بعينه. وفي المختبرات الحديثة، غالبا ما يغمر الباحثون الخلايا بالكيميائيات فتصبح كمن يُعَبّ من قرية دون حساب، مقارنة بحفل الكوكبتيل المعقد والمقنن، الذي يقيمه الجسم في الحالة السوية لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية.

فمن أجل تعرف المكان الملائم - المجهول غالبا - والتوقيت وهوية الأدوار، يقوم «A.N» ميلوش عالم المواد بستانفورد وزملاؤه بإعادة تكوين البيئة الملائمة التي تقيم فيها الخلايا الجذعية في الحالة السوية فهؤلاء الباحثون يطورون مختبرا مجهريا على شبيبة chip سيليكونية، تحيط بالخلية الجذعية وتحوي ما يقرب من 1000 فجوة (مستودع)، قطر كل منها 500 نانومتر ويحوي كل مستودع نانوي 1 أتولتر (attoliter) (10⁻¹⁸ لتر) تقريبا من سائل مسساو لحجم المفرزات الخلوية وتكون المستودعات محكمة الإغلاق (الختام) بالنمط نفسه من الليبيدات الشائبة الطبقة التي تتشكل منها الأغشية الخلوية، وتُفتح هذه المسام بواسطة أعشار الفلظ في هذه الطبقات، ويلاحظ «ميلوش» عندما يرغب الباحثون في إيصال مادة كيميائية نوعية إلى الخلية في مرحلة محددة من مراحل تناميها، فليس عليهم سوى الضغط على زر معين. ويعمل الفريق حاليا على تنمية خلايا جذعية مشتقة من نسيج شحمي بالغ.

ويضيف «R» ولف «مدير نقل التّقانة في معهد كاليفورنيا للتقانة» إنه إلى جانب عوامل النمو، يمكن للعلماء أن يجربوا وسائل بديلة لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية. وهو يشير بذلك إلى كظم التعبير الجيني بواسطة تدخل «رناوي» RNA interference

ويأمل «ميلوش» أيضا أن يُستعمل اختراعه في إنشاء نسيج من الخلايا الجذعية طبقة طبقة، ويمكن لهذه القدرة أن تسمح بإنماء نسيج مركبة، مثلا عظم على أحد الوجهين والغضروف على الوجه الآخر. ويقرر «ميلوش» «إذا ما انتزع الغضروف الآن، عليك أن تولبه في العظم لإعادته ثانية ولا توجد حتى الآن أي وسيلة لتكوين السطح الفاصل (البيني) بين العظم والغضروف» وينمّل الأمل في بناء نسيج مركبة، يقوم فيها الغضروف، الذي تم إنمائه صناعيا، بالارتباط ارتباطا طبيعيا بالجسم.

ومما يفلق أن الكيمياءيات في المستودعات النانوية قد تتفاعل مع الليبيدات لذا، فإن الباحثين يأملون أن يستبدلوا بالختام الليبيدي ختاماً خاملاً من الذهب، يمكن إذابته - عند الضرورة - بواسطة تيار كهربائي كما أن القلبية المستعملة لفتح الخنازات قد تؤثر سلبا في الخلايا الجذعية، بيد أن «ميلوش» يوضح بأنهم قد يجدون حلا لهذه المشكلة يجعل المسام غائرة أكثر، بحيث يصبح الحفل الكهربائي أبعد من الخلايا

ويتنبأ «ميلوش» أنه يمكن للصناعات الإلكترونية المعيارية أن تُنشئ الأداة، بحيث تصل السوق في غضون خمس إلى ثماني سنوات ولكنه سيسعملها هو وزملاؤه في تحاربهم قبل ذلك بزمّن طويل. ويضيف «ولف»: «يمكنني أن أرى إنتاجا في مستوى بحثي قيد الاستعمال في بداية عام 2006، إذا ما سارت الأمور على النحو المأمول»

«U.T» شوا، مساهم دائم

مشكلة الدفع والجذب

يمكن لشبيبة ستانفورد التي تخاطب الخلايا الجذعية كيميائيا أن تواجه مشكلة إذا ما عولت هذه الخلايا على مؤشرات أخرى لتنميتها الصحيح، مثل فعلي الدفع والجذب الميكانيكيين، أو على بروتينات مشتقة على الأغشية المجاورة. ويقول «A.N» ميلوش «رئيس فريق الباحثين الذي بطور الشبيبة» إن بإمكانه أن يحاكي بسهولة البروتينات المرتبطة بالغشاء بوسم داخل الأداة بالمركبات الملائمة، ولكن الشبيبة لا تولد حاليا بصورة جيدة المؤشرات الميكانيكية ومع ذلك، فإنه ليس من الواضح حاجة جميع الخلايا الجذعية أو معظمها إلى هذه المؤشرات. ويقول «ميلوش» إن الأداة قد تساعد على الإجابة عن هذا السؤال.

CHATTING UP CELLS (٢)

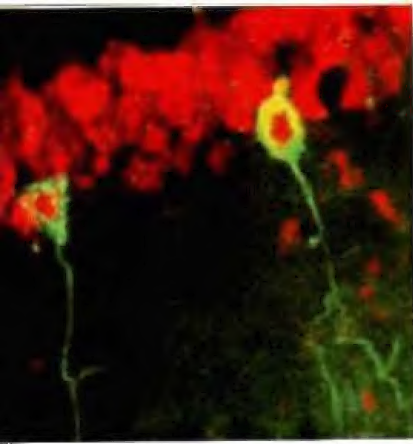
Problem of Push and Pull (٣)

adult fat (٤) chat rooms (٥)

أ. رنا اقتراضي

lipid seal (٦)

recessing (٧)



تستطيع خلايا الجنين المكتمل (اللون الأخضر) أن تشق طريقها إلى دماغ الأم، وتصلطع النوى العصبونية في هذه الصورة باللون الأحمر.

من الجنين إلى دماغ أمه

الآات علاجية من خلايا الجنين المكتمل تدخل دماغ الأم.

الجنين المكتمل تتفاعل مع ذلك الحاجر الدماغى الدموى، بحيث تسمح لهذه الخلايا بالتسلل عبره. ويشعر فريق الباحثين هذا بشكل واثق، بأن خلايا الجنين المكتمل تستطيع أيضا أن تمر إلى أدمغة الذكور والإناث غير الحوامل من دون وجود أدلة على فروق رئيسية بين الحاجز الدماغى الدموى الدموى لدى هؤلاء، ولدى الإناث الحوامل، حسب قول «ديوى». ويأمل العلماء أن يبينوا لاحقا أن خلايا الجنين المكتمل تصبح عصبونات وظيفية.

إن الاكتشاف الذى نشر فى أون لاين online فى الشهر 2005/8 بواسطة دورية الخلايا الجذعية Stem Cells يعطى أملا واعدا فى معالجة الاضطرابات الدماغية. ويسبب الحاجز الدماغى الدموى، فإن المعالجات الاغتراسية transplant therapies فيما يخص الدماغ عادة ما تستحضر أفكار الحفر فى الجمجمة. ولعل تحديد هوية الجزيئات الخاصة بخلايا الجنين المكتمل التى تدخل الدماغ لتغزو فيه خلايا عصبية جهازية قد يفيد فى العثور على خلايا مشابهة من مصادر أخرى غير الأجنة المكتملة. مثل دم الحبل السرى umbilical cord blood. ومثل هذا البحث قد يقودنا إلى طعوم (غراس) خلوية غير عدوانية من أجل الدماغ لا تتطلب الإحقنا فى الوريد. ويتبغى تحري توافق أية خلايا تستخدم فى هذه المعالجات مع المريض قدر الإمكان تقاديا لاستشارة الجهاز المناعى لديه هذا ويبقى من غير المؤكد ما إذا كانت الخلايا المحقونة لغرض الوصول إلى الدماغ قد ينتهى الأمر بها إلى الاغتراس فى مكان آخر غير الدماغ ويقول «ديوى» فى هذا الصدد. «لكننا لا نعرف حتى الآن ما إذا كان مثل هذا الحدث مشكلا فى حد ذاته».

وكذلك ينظر الباحثون اليوم فى أمر ما إذا كان مرور خلايا الجنين المكتمل إلى الدماغ يحدث فى البشر بنفس سهولة حدوثه فى الفئران. إنهم يخططون لدراسة ذلك فى النسيج العصبى بعد الموت لدى أمهات للعلماء، حيث ستؤكد علامات الصبغى (٧) هذا التأثير فى البشر. وحسبما يستدل «كسياو» سببى ذلك أيضا قصصية «ما إذا كان لهذا الإجراء، أية مضاعفات سلوكية أو نفسانية».

يرسوخ الولدان فى عقول أمهاتهم على الدوام بكل معنى الكلمة. ففي الفئران عثر الباحثون على خلايا من الأجنة المكتملة تستطيع أن تهاجر إلى داخل دماغ الأم وتتطور فيه على ما يبدو إلى خلايا من الجهاز العصبى.

ويأتى هذا الاكتشاف من «S. داوى» (فى جامعة سنغافورا الوطنية) و«Zh. شينج كسياو» (من مستشفى سنغافورا العام) وزملاء لهما فى الصين واليابان. فلقد كان هؤلاء الباحثون يسعون إلى تصميم علاجات للسكتة وأمراض مثل داء الزايمر، إذ عرف العلماء لستوات عديدة أن خلايا الجنين المكتمل لدى البشر تستطيع الدخول إلى دم الأم، حيث تتمكن من البقاء ما لا يقل عن 27 سنة بعد الولادة وعلى غرار الخلايا الجذعية، تستطيع خلايا الجنين المكتمل هذه أن تصبح أنواعا أخرى عديدة من الخلايا، ويمكن من الناحية النظرية أن تقيد فى إصلاح الأعضاء المتضررة.

لقد ربى بيولوجيو الأعصاب إناث فئران عادية مع فئران ذكور تم تحويلها للتعبير عن «express» بانتظام عن بروتين متألق أخضر اللون فوجدوا خلايا جنين مكتمل خضراء فى أدمغة الأمهات. ويقول «كسياو» فى هذا الصدد «هناك فى بعض مناطق أدمغة الأمهات خلايا ذات منشأ جنينى مكتمل براوح عددها ما بين خلية و 10 فى كل 1000 خلية دماغية».

لقد تحولت خلايا الجنين المكتمل هذه إلى ما يشبه العصبونات والخلايا النجمية الدقيقة (التي تقيد فى تغذية العصبونات) والخلايا الدقيقة القليلة التغصنات oligodendrocytes (التي تقيد فى عزل العصبونات) والبالاع macrophages (التي تقيد فى هضم الميكروبات والخلايا التالفة) إضافة إلى ذلك، وجد العلماء بعد أن أحدثوا أذية كيميائية فى أدمغة فأرية، زيادة فى أعداد خلايا الجنين المكتمل التي تشق طريقها إلى المناطق المتضررة من الدماغ تعادل ستة أضعاف أعدادها فى المناطق الأخرى، ما يوحي بأن هذه الخلايا قد شقت طريقها إلى هناك استجابة لإشارات كرب distress جزئية أطلقها الدماغ.

ولكننا لا نعرف كيف تجتاز خلايا الجنين المكتمل جدران الشعيرات الدموية التي تفصل الدماغ عن بقية جهاز الدم، علما بأن خلايا هذه الشعيرات الوعائية ذات تراص كثيف يحول دون عبور معظم المركبات للحاجز الدماغى الدموى المحيط بالنسيج العصبى الدماغى ويستشف الباحثون أن الجزيئات الحيوية biomolecules، مثل البروتينات والسكريات التي تزين سطوح خلايا

أثمة حماية للحبل (لحوامل)

طبقا لإحدى النظريات العلمية، فإن خلايا الجنين قد تدور داخل جسم الأم لتحمي صحتها. وفي الحقيقة، ما يدعم هذه النظرية هو قدرة الخلايا الجنينية على الدخول إلى الدماغ استجابة لحدوث تلف فيه. وهي الظاهرة التي أوضحها إخصائية الولادة الطبية W. D. «بيانتشي» (من جامعة تفتس). وهي أيضا أول من اكتشف أن الخلايا الجنينية تستطيع البقاء فى الأمهات لعدة عقود. وتوضح «بيانتشي» ذلك قائلة: إن الرضع بتأجيل قلق شديد إذا توفيت أمهاتهم، وهكذا يظهر أن هناك ميزة تطورية.

بينما يعارض هذه النظرية إثبات آخر، فقد رجحت بعض الدراسات تطور المرض بالخلايا الجذعية التي عززت نفسها فوق أنسجة الأم فى حالات نادرة. لكن «بيانتشي» تشعر مع ذلك أن هذه الخلايا الجنينية المغرورة لا تسبب المرض ولكنها تستجيب له للمساعدة

المؤلف

Charles Q. Choi

له إسهامات متعددة فى مجلة ساينتفيك أمريكان

اسألوا أهل الخبرة

كيف تقتل المضادات الحيوية الخلايا البكتيرية من دون أن تقتل الخلايا البشرية؟^(١)

ترغب ما تحتاج إليه من نفسها. وإن أدوية السلفا تثبط الإنزيم الأساسي في هذه العملية. ومن ثم لن تتمكن البكتيريا من النمو.

وهناك مضاد حيوي آخر يدعى التتراسكلين، الذي يتدخل في النمو البكتيري بتوقيفه عملية التركيب البروتيني. وبما أن عملية التركيب البروتيني في الخلايا البكتيرية والبشرية كلها تتم على تراكيب بنوية تدعى الريبوسومات ribosomes فإن التتراسكلين يرتبط بأحد المقرات sites على الريبوسوم مانعا الرنا المفتاحي key RNA من الارتباط بالمقر ذاته. وهو ما يمنع زيادة طول السلسلة البروتينية وتشكلها: أما في الخلايا البشرية فلا يتراكم التتراسكلين بمقدار كاف لمنع التركيب البروتيني.

وبشكل مشابه، يجب أن يحدث نسخ الدنا DNA replication في الخلايا البكتيرية والبشرية معا. ويمكن لمضادات حيوية مثل السيبروفلوكساسين ciprofloxacin أن تستهدف نوعيا إنزيما يدعى مُثَقَّف الدنا DNA gyrase في البكتيريا، ولكن هذا المضاد الحيوي لا يؤثر في إنزيم مُثَقَّف الدنا البشري.

■ *M. كانتوتير، مبنية نيويورك*

How do antibiotics kill bacterial cells but not human cells? (١)

يُجيب عن هذا السؤال <H. مولبي> [الأستاذ في قسم الميكروبيولوجيا والمناعيات في كلية الطب - جامعة ميتشيجان]: تستطيع المضادات الحيوية (الصادات) أن تستهدف البكتيريا انتقائيا لقتلها والنخلص منها تاركة الخلايا البشرية سالمة من دون أن تتدخل فيها. وذلك وفق طرائق متعددة.

تحتوي معظم جدر الخلايا البكتيرية على جزيء ضخم يدعى الببتيدوكليكان peptidoglycan الذي لا تصنعه الخلايا البشرية ولا تحتاج إليه فالسليسلين مثلا يمنع خطوة الارتباط التصالية النهائية أو نقل الببتيدات transpeptidation. بين تجمع الجزيئات الضخمة. ونتيجة لذلك يصبح جدار الخلية هشاً فينخر قاتلاً البكتيرة.

تستهدف بعض الأدوية السبل الاستقلابية (الأبضية) البكتيرية bacterial metabolic pathways وتشبه الأدوية السلفوناميدية sulfonamide بنويوا حمض البارامينوزيك، وهو الحمض الضروري لتركيب حمض الفوليك folic acid. وإن جميع الخلايا تتطلب حمض الفوليك. وفيما يدخل هذا الفيتامين بسهولة في الخلايا البشرية. فإنه لا يستطيع أن يدخل في الخلايا البكتيرية. وهكذا تضطر البكتيريا أن

كيف تضىء اليراعات ولماذا؟^(٢)

يُجيب عن هذا السؤال <A.M. برانام> [الأستاذ المشارك بقسم الحشرات والديدان الخيطية في جامعة فلوريدا]:

هناك تفاعل كيميائي داخل اليراعات يمكنها من الضياء، وهي عملية تسمى الضيائية الأحيائية bioluminescence. ينبعث وهج

عندما يتحد أكسجين الخلايا مع الكالسيوم وجزيء ثلاثي فسفات الأدينوزين المختزن للطاقة وأصبغ الليوسيفرين بوجود إنزيم الليوسيفراز. وعلى العكس من المصباح الذي تولد منه كمية كبيرة من الحرارة. فإن اليراعات تولد «ضوءاً بارداً» بحيث إذا ارتفعت درجة حرارة العضو الحدث فيها. كما في مصابيح الإضاءة، فإن الحشرة لن تستطيع البقاء وتحمل التجربة.

يتحكم عضو الإضاءة في بدء وتوقف انبعاث الضوء بإضافة الأكسجين إلى المواد الكيميائية الأخرى المطلوبة لإحداث الضوء. فعندما يكون الأكسجين متوافراً يصدر عضو الإضاءة ضوءاً. أما إذا لم يكن متوافراً فإن المنطقة تصبح مظلمة وتقوم الحشرات. وهي عديمة الرنات. بنقل الأكسجين من خارج جسمها إلى الخلايا الداخلية خلال سلسلة معقدة من الأنابيب الأخذة في الصغر، تعرف بالقضيبات وتعمل العضلات التي تتحكم في انسياب الأكسجين إلى خارج القضيبات ببطء نسبياً. ولذلك فإن وميض اليراعات بهذه السرعة ظل لغزاً محيراً.

بيد أن الباحثين وجدوا حديثاً أن أكسيد النيتريك يؤدي دوراً حاسماً، فالميتوكوندريات (الأجسام السبجية) داخل الخلايا تحتفظ

بأي أكسجين متوافر تستخدمه العضيات في توليد الطاقة للخلية ولحث الميتوكوندريات على إطلاق بعض الأكسجين فإن دماغ اليراعات يرسل إشارات لإنتاج أكسيد النيتريك الذي يحل محل الأكسجين في الميتوكوندريات، وبذلك يصبح الأكسجين الذي ينتقل إلى عضو الإضاءة حراً لكي يستخدم في التفاعل الكيميائي الذي ينتج الضوء. ولكن لأن أكسيد النيتريك يتحلل سريعاً فإن الأكسجين يحتبس مرة أخرى في الميتوكوندريات وينتهي إحداث الضوء.

وتضئ اليراعات لأسباب مختلفة، فهي تنتج استيرويدات دفاعية في أجسامها تجعلها غير سائغة للمفترسات، وتستخدم إضاءتها المفاجئة كإعلان تحذيري من طعامها البغيض وتومض الأظفار الياقعة لكثير من اليراعات بأنماط

فريدة لأنواعها تسمح بتمييز أفراد الجنس الآخر وقد أظهرت دراسات عديدة أن الإناث تختار أزواجهن اعتماداً على أساس نمط ضيائي مميز للذكور وقد تبين أن معدلات الإضاءة الأسرع والأقوى هي الأكثر جاذبية للإناث في نوعين مختلفين من أنواع اليراعات.

■ *G. وابس> العاصم واشنطن*

How and why do fire flies light up? (٢)

(١) اليراعة جمعها يرع. ولا بأس من جمعها على يراعات للوضوح وهي تعرف أيضاً باسم الحُمَاحِد، والترجمة الحرفية لاسم هذه الحشرات الدارج بالإنكليزية «الدياب الناري» تدل على أنه اسم مضلل. فهذه الحشرات ليست «ناريات» على الإطلاق، وإنما هي من الحشرات الغدبية الأجنحة، التي تضم أيضاً الخنافس والموس (التحذير)

